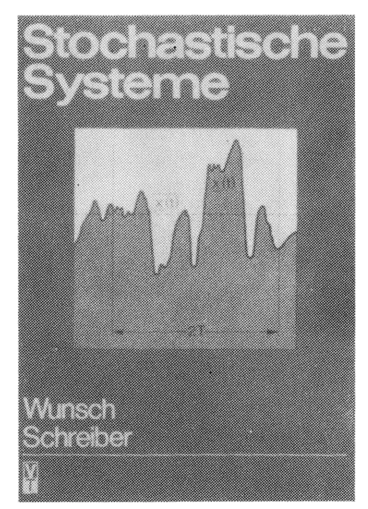
msr 4

messen · steuern · regeln



VEB
Verlag Technik
Berlin
April 1984
EVP: 4,– M

Neuerscheinungen



Stochastische Systeme

Grundlagen

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Wunsch und
Dr. sc. techn. Helmut Schreiber.
176 Seiten, 109 Bilder, Leinen, 13,— M, Ausland 25,— M.
Bestellangaben: 5533257/Wunsch, Stochast. Systeme

Das Buch führt in knapper Darstellungsweise in die Wahrscheinlichkeitsrechnung ein, legt die Theorie zufälliger Prozesse dar und wendet sie auf die Informationstechnik an. Dabei wurde großer Wert darauf gelegt, die Ausdrucks- und Schreibweise den internationalen Gepflogenheiten anzupassen, um dem Leser das Studium größerer und weiterführender Werke zu erleichtern. Die Autoren sind weiterhin um Anschaulichkeit bemüht und fördern durch Querverbindungen das Verständnis. Der Stoff wird bei hohem theoretischem Niveau anwendungsbezogen dargestellt. In zahlreichen Übungsaufgaben mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden werden die Darlegungen vertieft und weitergeführt.

Entwurf elektronischer Bauelemente und Schaltkreise

Von Doz. Dr. sc. techn. Horst Ahlers und
Dr. sc. Dr. sc. techn. Jürgen Waldmann.
416 Seiten, 99 Bilder, 103 Tafeln, Leinen, 42,— M.
Bestellangaben: 5530822/Ahlers, Schaltkreisentwurf

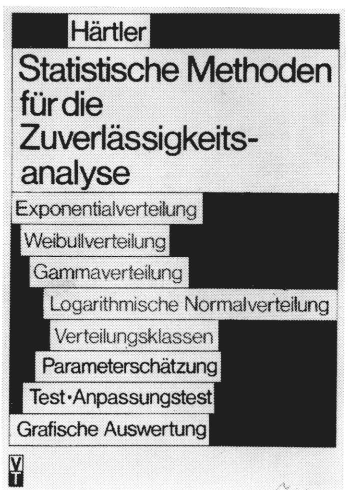
In diesem Buch wird eine wissenschaftlich fundierte Entwurfs- und Konstruktionsmethodik für elektronische Bauelemente und Schaltkreise entwickelt, die sich eng an die seit Jahren bewährte Methodik der feinmechanisch-gerätetechnischen Konstruktion anlehnt. Ihre Erarbeitung und Erläuterung anhand von Beispielen steht im Mittelpunkt. Die Thematik reicht hin bis zum Mikroelektronikentwurf.

Wickelanschlußtechnik



Von Prof. Dr. sc. techn. Wolfgang Scheel und
Dr.-Ing. Hans-Jürgen Albrecht.
Reihe Betriebspraxis. 132 Seiten, 134 Bilder, 42 Tafeln, Broschur, 13,50 M.
Bestellangaben: 5531753/Scheel, Wickelanschluß

Technologische und anwendungsbezogene Informationen über eine der progressivsten Verfahrensvarianten der lötlosen Verbindungs- und Anschlußtechnik.



Bereits erschienen

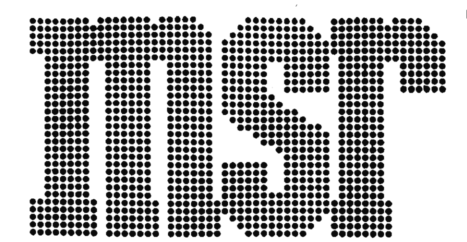
Statistische Methoden für die Zuverlässigkeitsanalyse

Von Dr. rer. nat. Gisela Härtler.
232 Seiten, 48 Bilder, 17 Tabellen, Kunstleder, 24,— M, Ausland 40,— M.
Bestellangaben: 5531905/Härtler, Zuverlässigkeit

Zur Auswertung der Zuverlässigkeitsdaten aus Experimenten. Die lehrbuchartige Zusammenstellung macht auch Einzelprobleme verständlich. Beispiele aus der Praxis ergänzen den theoretischen Teil.

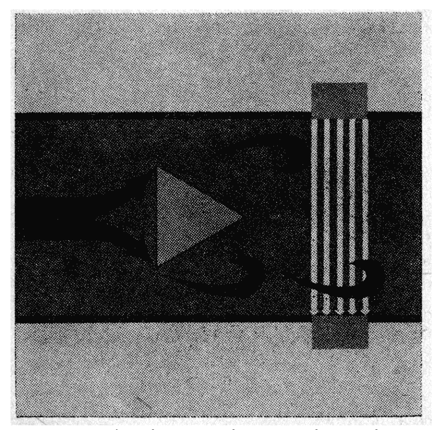
Auslieferung durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN



messen·steuern·regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



Unser Titelbild zeigt schematisch eine Volumenstrommessung nach dem Wirbelfrequenzverfahren mit Ultraschall-Sensor. Der Beitrag auf S. 146 gibt umfassende Auskunft über Stand und Perspektiven auf dem Gebiet der Mengen- und Durchflußmeßtechnik.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

4

27. Jahrgang
April 1984

VEB VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

H. Kluge[1])

Gibt es Alternativen zur konventionellen Mengen- und Durchflußmeßtechnik?[2])

0. Einleitung

Auf dem 9. IMEKO-Weltkongreß im Mai 1982 wurde eingeschätzt, daß es auf dem Gebiet der Durchflußmeßtechnik keine beeindruckenden Fortschritte gegeben hat und mit Ausnahme einzelner Spezialfälle in den nächsten Jahren keine neuen Wirkprinzipe zu erwarten sind, die für die industrielle Anwendung relevant werden könnten.
Ergänzt wird diese Feststellung durch die Erfahrungen, daß

- für die Messung äußerst schwieriger Fluide keine geeigneten Meßmittel zur Verfügung stehen
- auf der Suche nach Mengenstrommeßtechnik mit günstigem Preis/Leistungs-Verhältnis die querschnittsintegrierende Staudrucksonde eine Renaissance erlebt
- an den Konsultationsstützpunkt des Fachunterausschusses Durchflußmeßtechnik der WGMA häufig schon die Bitte um Unterstützung bei der Auslegung von Rohrkrümmern zur Mengenstrommessung gestellt wurde, womit der Trend zur Anwendung sehr alter Wirkprinzipe der Durchflußmessung unterstrichen wird.

Auch steht man der Situation gegenüber, daß die Meßgeräteindustrie der DDR den hohen Anforderungen an die Bereitstellung von Durchflußmeßtechnik sowohl stückzahlmäßig als auch meßaufgabengerecht z. Z. nicht nachkommen kann. Als Folge dessen müssen für die dringendsten Aufgaben Importe teils aus dem NSW getätigt werden. Hinzu kommt, daß zur Reduzierung von Investitionsmitteln selbst bei neuen Anlagen die in den Projekten vorgesehenen Durchflußmeßmittel eingespart werden.
Alle diese Feststellungen müssen den auf dem Gebiet der Mengen- und Durchflußmessung tätigen Ingenieur und Wissenschaftler zum Nachdenken zwingen, wozu der Beitrag einige Anregungen geben soll.

1. Systematisierende Gedanken zum Fachgebiet

Zum Gegenstand des Fachgebietes gehören die Erfassung und Verarbeitung von Mengen und Mengenströme abbildenden Meßsignalen für offene und geschlossene Kanalströmungen.
Die Aufgaben umfassen die Neu- und Weiterentwicklung von Meßmitteln, deren Einsatz in Industrie und Forschung sowie in nicht unbedeutendem Maße Probleme des gesetzlichen Meßwesens.
Beschränkt man sich vorerst auf die Rohrströmung, klammert also die offene Kanalströmung und die Wägung aus, so drückt Bild 1 die Vielfalt des Meßproblems aus.
Zielgrößen sind die im Strömungsquerschnitt 1—1 auftretenden Durchflußgrößen sowie die jeweils zugehörigen Mengengrößen (Bild 1).
Je nachdem, ob primär die Durchfluß- bzw. die Mengengröße im Meßsignal abgebildet wird, spricht man von Durchfluß- bzw. Mengenmeßverfahren. Durch differenzierende Zeitglieder lassen sich aus den Mengengrößen die Durchflußgrößen und durch integrierende Zeitglieder aus den Durchflußgrößen die entsprechenden Mengengrößen gewinnen. Bild 1 sind ebenfalls die wichtigsten Einsatzbedingungen zu entnehmen.
Das Fluid — Flüssigkeiten, Gase, Dämpfe und in zunehmendem Maße Mehrphasen-Mehrkomponentengemische — strömt unter dem statischen Druck p durch die Rohrleitung vom Nenndurchmesser DN.

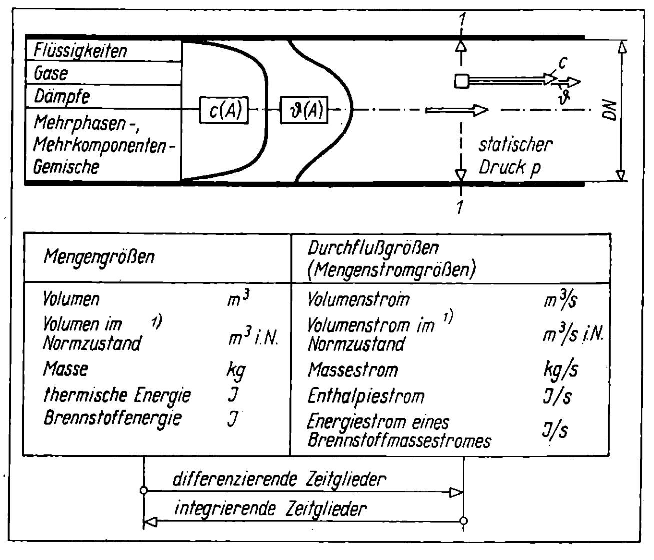


Bild 1. Systematisierende Übersicht zur Meßaufgabe

1) Norm-(Normal-) Zustand: $p_n = 101{,}325$ kPa; $\vartheta_n = 0$ °C
Standardzustand: $p_{St} = 101{,}325$ kPa; $\vartheta_{St} = 15$ °C

Geschwindigkeitsprofil und Temperaturprofil müssen zur gewünschten Mittelwertbildung über dem Strömungsquerschnitt integriert werden. Bei Mehrphasen-Mehrkomponenten-Gemischen tritt zusätzlich das Problem des Schlupfes zwischen den Phasen sowie zwischen den einzelnen Komponenten auf.
Parameter der in thermischen Energieanlagen möglichen Anwendungsfälle sind in Tafel 1 zusammengestellt.
In verfahrenstechnischen Anlagen wurde eine Häufigkeit der Meßgrößen nach Tafel 2 festgestellt.
Obwohl nach der Anzahl mit 25% hinter der Temperatur nur an zweiter Stelle, nehmen Mengen- und Durchflußmeßmittel

Tafel 1. Parameter der Mengen- und Durchflußmessung in thermischen Energieanlagen

Parameter	Variationsbereich
Fluid	flüssige Gase (z. B. He, N_2, H_2) flüssige Metalle (z. B Na, Hg) Säuren, Laugen Kühlwasser, Heißwasser, Abwasser Kältemittel, Kältemittelgemisch (flüssig) Heißdampf, Naßdampf flüssige und gasförmige Brennstoffe, Öle Kohle-Wasser-Gemische Kohlenstaub-Luft-Gemische Asche-Teer-Wasser-Gemische Gase, heiße Gase
Durchfluß in m³/h	10^{-4} bis 10^{6}
Durchmesser in mm	2 bis 3000
Temperatur in K	4 bis 1000
Dichte in kg/m³	10^{-2} bis 10^{4}
kinematische Viskosität in m²/s	10^{-6} bis 10^{-3}
Reynolds-Zahl	10^{0} bis 10^{7}
Meßspanne	1:5 bis 1:100
Genauigkeitsklasse	0,25 bis 4,0
Projektgebunden zulässige Kosten je Meßstelle in M	100 bis 100000[1])

[1]) geschätzt

[1]) Doz. Dr.-Ing. *Heiner Kluge* (43) studierte von 1959 bis 1965 Wärmetechnik an der TU Dresden. Anschließend bis 1968 wissenschaftlicher Assistent am Maschinenlaboratorium der TU Dresden. Von 1968 bis 1974 wissenschaftlicher Oberassistent an der Sektion Energieumwandlung der TU Dresden. 1971 Promotion A. Von 1974 bis 1979 Gastdozent an der Damascus University/Syrien und der Addis Abeba University/Äthiopien. Seit 1979 Hochschuldozent für Meßtechnik thermischer Maschinen und Anlagen an der Sektion Energieumwandlung der TU Dresden. Vorsitzender des FUA „Durchflußmeßtechnik" der WGMA und Mitglied des IMEKO TC 9 „Flow Measurement".

[2]) Nach einem Vortrag zum 3. Xolloquium „Meßtechnik für hermssche Energieanlagen" der TU Dresden (13. und 14. April 1983).

Tafel 2. Häufigkeit der Meßgrößen in verfahrenstechnischen Anlagen

Häufigkeit der Meßgrößen in verfahrenstechnischen Anlagen	
Temperatur	50%
Mengen- und Durchflußgrößen	25%
Druck	10%
Sonstige Meßgrößen (Zeit, Drehzahl, Stoffkonzentration, Stromstärke, Spannung, elektrische Leistung usw.)	15%
Wertmäßige Mengen- und Durchflußmeßmittel an 1. Stelle	

Tafel 3. Anteile der Meßverfahren an der Lösung der Meßaufgaben

Wirkdruckzähler (Blende, Düse u. ä. mit Differenzdruckwandler)	45%[1])
Schwebekörper-Volumenstrommeßgeräte	15%
Volumenzähler (Wälzkolben-, Ringkolben-, Drehkolbengas-, Hubkolben-, Balgengaszähler)	15%
Magnetisch-induktive Volumenstrommeßgeräte	10%
Turbinenzähler, Woltman-, Flügelradzähler	5%
Stauscheiben-Volumenstrommeßgeräte	2%
Wirbelzähler	1%
Ultraschall-Volumenstrommeßgeräte (Laufzeit- und Dopplerverfahren)	2%
Sonstige	5%

1) in der Energiewirtschaft bis 80%

aufgrund der höheren Kosten je Meßstelle wertmäßig den ersten Platz ein.
1980 betrug das Marktvolumen an Mengen- und Durchflußmeßtechnik im westeuropäischen Bereich 1 Mrd. DM.
Aus dem ökonomischen Zwang zum rationellen Material- und Energieeinsatz folgt eine starke Nachfrage nach Durchflußmeßmitteln für Aufgaben der Bilanzierung, Verrechnung, Dosierung, technischen Diagnose und Automatisierung.
Nach internationalen Schätzungen sind die einzelnen Meßverfahren mit Anteilen entsprechend Tafel 3 an der Lösung der Meßaufgaben beteiligt.
Man erkennt die dominierende Position, die Wirkdruckanlagen heute noch einnehmen. Für Anwendungsfälle in der Energiewirtschaft beträgt ihr Anteil aufgrund der Möglichkeit des Einsatzes für hohe Temperaturen und Drücke bis zu 80%.
Den vielseitigen Anwendungsfällen und Einsatzbedingungen steht also eine Vielzahl in der Praxis bewährter Prinzipe und Meßgeräte gegenüber.
Das Thema des Beitrages verlangt den Versuch einer Definition des Begriffes „konventionelle Mengen- und Durchflußmeßtechnik".
Bild 2 zeigt eine Zeittafel mit Angaben über die Jahre, in denen Meßgeräte nach den wesentlichen bekannten Verfahren industriell gefertigt und eingesetzt wurden. Patente zu den einzelnen Verfahren datieren allerdings früher, und teils liegen zwischen der erstmaligen Beschreibung und dem industriellen Einsatz 5 bis über 100 Jahre, je nach dem ökonomischen Erfordernis des Einsatzes und dem Entwicklungsstand der verfügbaren Technologie.
Zur konventionellen Mengen- und Durchflußmeßtechnik zählt man die Meßmittel, bei denen die Abbildung der Meßgröße und die Verarbeitung des Meßsignals bis zum Meßwert durch mechanische Mittel *möglich* ist und deren Leistungsfähigkeit somit durch den Entwicklungsstand der Feingerätetechnologie bestimmt wird.
Während das magnetisch-induktive Verfahren eine Sonderstufe darstellt, grenzen sich die seit 1960 eingeführten Verfahren deutlich ab.
Die Ultraschall-, Laser-, Wirbelfrequenz- und Korrelationsverfahren sind ohne entwickelte Elektroniktechnologie nicht zu realisieren.
Die Abbildung der Mengen- und Durchflußgrößen ist nur über elektronische und mikroelektronische Signalverarbeitungsstufen möglich, die teils als Hardware und mit der Einbeziehung von Mikroprozessoren und Mikrorechnern in das Meßgerät auch durch Software realisiert werden. Damit ist die Leistungsfähigkeit dieser Verfahren vom Entwicklungsstand der Mikroelektroniktechnologie abhängig.
Diese Entwicklung ist bereits soweit fortgeschritten, daß der Bezug auf die Meßgrößen Volumen, Volumenstrom bzw. Masse und Massenstrom nur noch im mikroelektronischen Teil hergestellt wird und die Sensoren selbst — z. B. kapazitive Sensoren, piezoelektrische Schwingungssensoren, piezoresistive Drucksensoren, thermoresistive oder thermoelektrische Sensoren — keine Beziehung zur eigentlichen Meßgröße mehr haben. Ganz deutlich wird dies beim Korrelationsverfahren. Es ist also nicht übertrieben, bei dieser Gruppe von mikroelektronischer Durchflußmeßtechnik zu sprechen im Gegensatz zur mechanischen bzw. elektromechanischen — sprich „konventionellen" — Durchflußmeßtechnik.
Eine formale Bestätigung für diese getroffene Einteilung könnte auch darin gesehen werden, daß für fast alle als „konventionell" bezeichneten Verfahren internationale Standards ausgearbeitet wurden, dagegen für die elektronikabhängigen Verfahren keine internationalen und nationalen Standards existieren und auch in naher Zukunft keine zu erwarten sind.
Betrachtet man nochmals die anteilige Zusammenstellung (Tafel 3) der einzelnen Meßverfahren, so erkennt man, daß zumindest in der Energiewirtschaft etwa 90% der Meßstellen entsprechend der gegebenen Definition mit konventioneller Meßtechnik ausgerüstet sind.
In mehreren Arbeiten der vergangenen 2 Jahre wurden in systematisierenden Übersichten Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren diskutiert mit dem Ziel, Entscheidungskriterien zu erarbeiten, die die Auswahl der Meßmittel für eine bestimmte Meßaufgabe erleichtern sollten. Zu dieser Problematik sei auf die Literatur verwiesen [1] bis [4].
Diese Arbeiten zusammenfassend kann festgestellt werden, daß jedes der bisher genannten Verfahren auch in den nächsten Jahrzehnten unter den für das jeweilige Meßmittel charakteristischen Einsatzbedingungen angewendet werden wird.
Es ist offensichtlich, daß es auch in absehbarer Zukunft kein universelles Meßmittel geben wird, das gleichermaßen alle Aufgaben der Mengen- und Durchflußmessung unter Berücksichtigung metrologischer und ökonomischer Gesichtspunkte löst.
Gibt es also keine nennenswerten Fortschritte und Aussichten? Diese Feststellung des 9. IMEKO-Weltkongresses stimmt trotzdem nur bedingt. Es lassen sich durchaus wissenschaftliche Aufgabenstellungen für die meßtechnische Forschung auf dem Gebiet der Mengen- und Durchflußmessung formulieren, die gegenüber der konventionellen Gerätetechnik schon sehr bald zu alternativen Systemlösungen mit deutlich verbesserten meßtechnischen Eigenschaften führen werden.

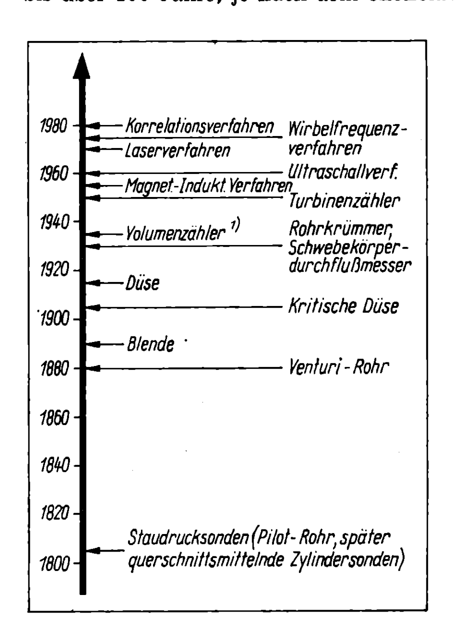


Bild 2. Zeittafel mit Einordnung der Meßverfahren nach der industriellen Fertigung und Anwendung

1) Wälzkolben-, Ringkolben-, Drehkolben-, Taumelscheiben-, Treibschieber-, Trommelgas-, Balgengaszähler

2. Entwicklungsrichtungen

2.1. *Ergänzung der konventionellen Volumen- und Volumenstrommeßtechnik durch signalverarbeitende Zusatzgeräte mit aufgabenbezogenen Mikrorechnerkonfigurationen*

Die Bilder 3 und 4 zeigen Beispiele dieser Möglichkeit der Erweiterung der konventionellen Meßgerätetechnik zu neuen Systemlösungen der Mengen- und Durchflußmeßtechnik.
Der mikroelektronische Flow-Computer gestattet mit

— Eingängen für frequenzanaloge und analoge Meßsignale
— aufgabenbezogener Mikrorechnerkonfiguration
— 8- bzw. 6-Ziffern-LED-Anzeige
— analogen Ausgängen
— V-24-Ausgang für den Anschluß eines Druckers

den universellen Einsatz in der Mengen- und Mengenstrommeßtechnik. Über den Impulseingang ist der Anschluß von Wirbel-

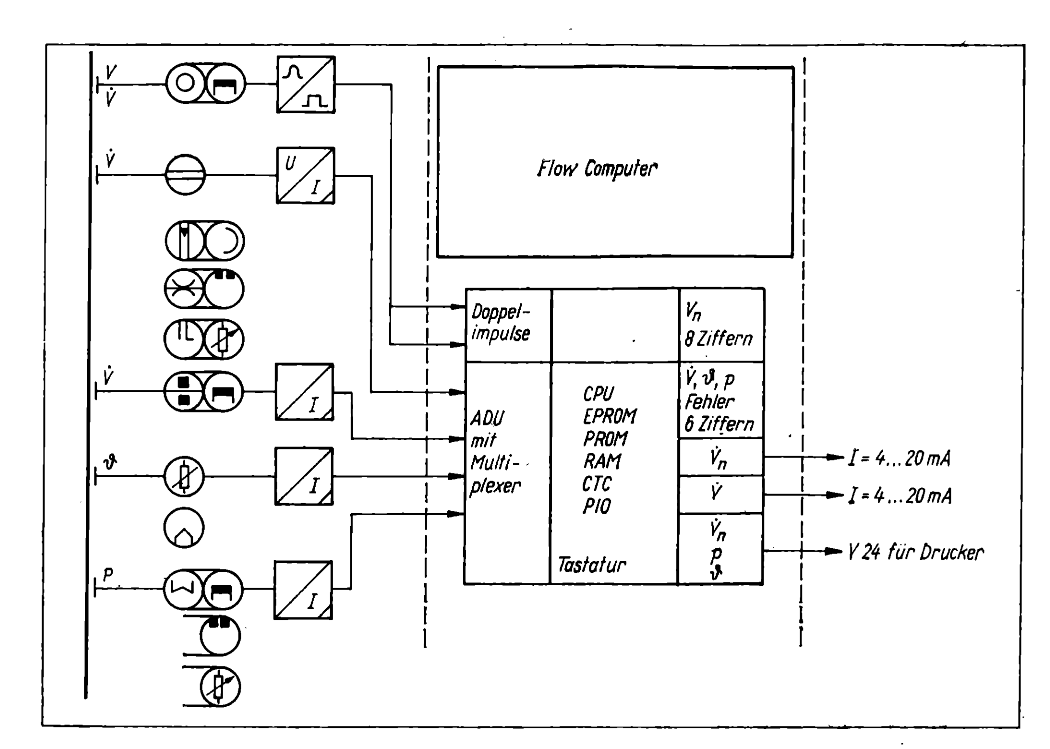


Bild 3. Systemlösung mit Flow Computer zur Mengenumwertung

zählern aber auch anderer Volumenzähler — wie Drehkolbengas-, Woltman-, Turbinen- oder Wälzkolbenzähler — möglich. Magnetisch-induktive Volumenstrommeßgeräte, Schwebekörper-Volumenstrommesser, Staudrucksonden sowie Blenden und Düsen können an die analogen Eingänge angeschlossen werden.
Die Meßsignale der Zustandsgrößen Druck und Temperatur lassen sich je nach den verwendeten Sensoren und Abgriffsystemen ebenfalls über die analogen Eingänge erfassen.
Durch ein aufgabenbezogenes Betriebssystem sowie Softwaremodule für Flüssigkeiten und Gase lassen sich neben der vollständigen Berücksichtigung temperatur-, druck- und fluidabhängiger Stoffwerte und der rechnerischen Verknüpfung der einzelnen Meßgrößen folgende Aufgaben vorteilhaft realisieren:

- Automatisierung der Messung
- selbsttätige Durchführung von Meßsystemdiagnosen
- Berücksichtigung meßtheoretischer Gesichtspunkte bei der Signalverarbeitung
- Durchführung energiepolitischer Maßnahmen
- Unterstützung von Maßnahmen zur Erzielung einer hohen Materialökonomie.

Für das primäre mechanische Wandlerelement liegen ausgereifte und größtenteils standardisierte Versionen vor, eine Verbesserung aus metrologischer Sicht ist kaum mehr möglich. Anders ist es mit den Signalverarbeitungsstufen.
So ließen sich durch verbesserte und in ausreichender Stückzahl verfügbare Drucksensoren die meßtechnischen Eigenschaften der auf dem Wirkdruck- und Staudruckprinzip beruhenden Volumenstrommeßgeräte entscheidend verbessern.
Eine Aufgabe besteht also darin, die in der nächsten Zeit erhältlichen neu- oder weiterentwickelten piezoresistiven, thermoresistiven, piezoelektrischen sowie optoelektronischen Sensoren für die Verfahren der Mengen- und Mengenstrommessung anzuwenden.
Der als Blockschaltbild dargestellte Flow Computer wurde im WB Meß- und Automatisierungstechnik der Sektion Energieumwandlung der TU Dresden entwickelt, als Experimentiermuster gefertigt und die Hardware- und Softwarekomponenten an der Aufgabe Messung von Wärmeleistung und thermischer Energie in Fernwärmeversorgungsanlagen erprobt.
Im Bild 4 ist seine Anwendung als Wärmemengenrechner dargestellt. Auch hier sieht man die Vielfalt der Anschlußmöglichkeiten.

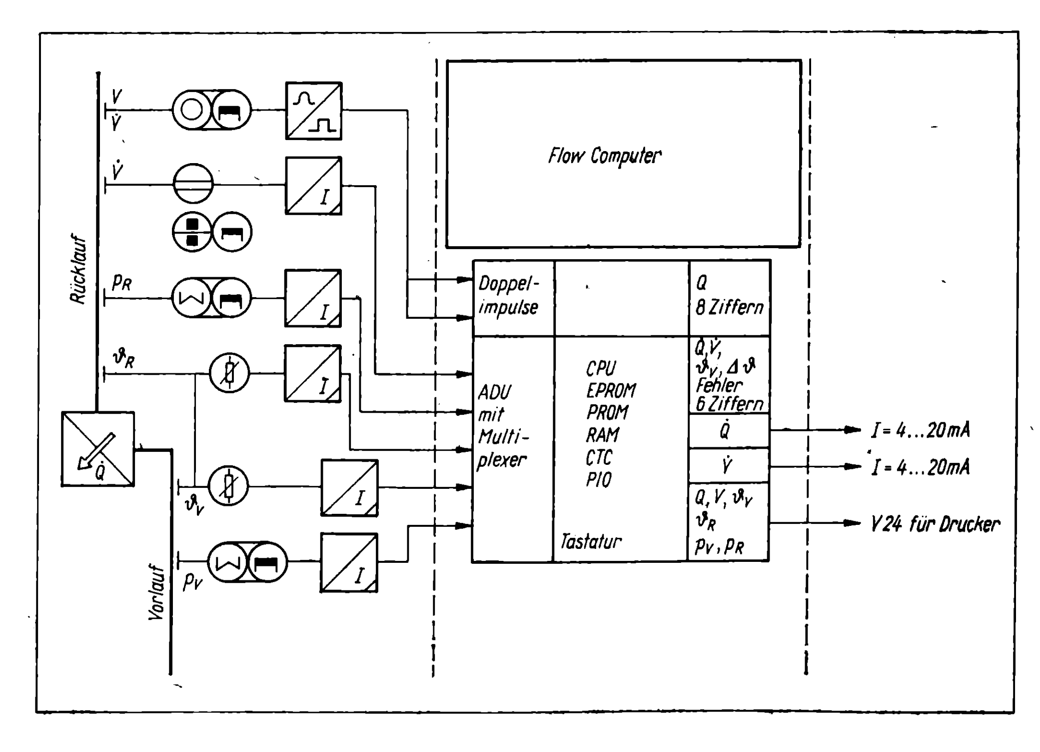


Bild 4. Darstellung eines Meßsystems mit Flow Computer zur Messung von Wärmeleistung und thermischer Energie

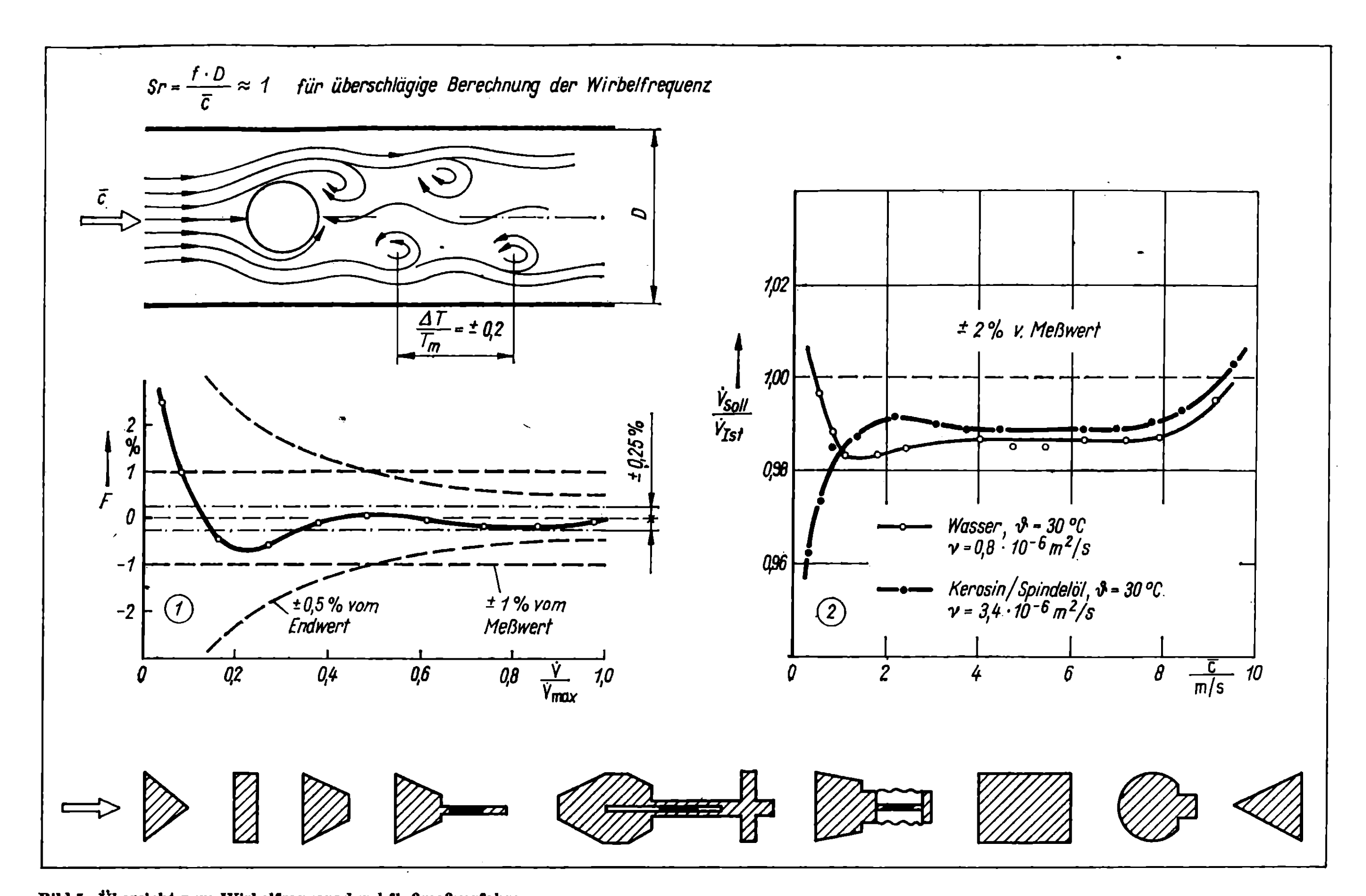


Bild 5. Übersicht zum Wirbelfrequenzdurchflußmeßverfahren

f = Wirbelfrequenz, $\bar{c}$ = mittlere Strömungsgeschwindigkeit, Sr = Strouhalzahl

2.2. *Erarbeitung von Systemlösungen der mikroelektronischen Volumenstrommessung für den industriellen Einsatz*

Analysiert man die als mikroelektronische Volumenstrommeßverfahren definierte Gruppe, so stellt man fest, daß ihr industrieller Einsatz hauptsächlich durch die verwendeten Sensoren begrenzt wird. Dies betrifft besonders die Parameter Nenntemperatur, Nenndruck, aber auch das Fluid und die von Laborbedingungen abweichenden äußeren Bedingungen (z. B. Rohrleitungsschwingungen).

Im Laser-Doppler-Anemometer verkörpert, hat sich die Laser-Geschwindigkeitsmessung als hochwertiges Meßverfahren im Laborbetrieb erwiesen und gewinnt als Normal zur Beglaubigung der Genauigkeit von Kalibrieranlagen an Bedeutung.

Das auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1983 von DISA vorgestellte FOLDA-System mit Sondenabmessungen von 16 mm Durchmesser und etwa 200 mm Länge zeigt den Trend des Laser-Doppler-Anemometers zum handlichen Strömungsmeßgerät. Es bleibt aber ein Laborgerät.

Legt man den Schwerpunkt wieder auf die industrielle Meßtechnik, so vermitteln die Bilder 5 bis 7 einen Überblick über Einsatzvielfalt und Leistungsfähigkeit dieser Verfahren.

Bild 5 zeigt das Wirkprinzip der Wirbelfrequenz-Volumenstrommessung. Der Volumenstrom wird primär als Frequenz der sich wechselseitig am Störkörper ablösenden Wirbel abgebildet. Neben teilweisem Ausbleiben einzelner Wirbel hat dieses Wandlerprinzip den Nachteil, daß die zeitlichen Abstände einzelner aufeinanderfolgender Wirbel stochastisch $\pm 20\%$ schwanken und damit eine zuverlässige Messung nur über Signalverarbeitung möglich wird. Die Leistungsfähigkeit der auf diesem Wirkprinzip beruhenden Volumenstrommeßgeräte wird wesentlich durch den Aufwand an Mikroelektronik bestimmt.

Die beiden dargestellten Fehlerdiagramme zeigen deutlich die möglichen Qualitätsunterschiede. Während Diagramm 1 die Fehlerkurve eines sorgfältig kalibrierten Gerätes zeigt, das bis unterhalb 10% des Nennvolumenstromes die Fehlergrenze von $\pm 1\%$ vom Meßwert nicht überschreitet und für einen weiten Einsatzbereich den Fehler $\pm 0{,}25\%$ vom Meßwert garantiert, sind in Diagramm 2 Prüfkurven für ein Seriengerät dargestellt, für das der Hersteller die Fehlergrenze mit $\pm 2\%$ vom Meßwert angibt.

Obwohl viele bekannte Hersteller von Mengen- und Durchflußmeßtechnik, VEB Junkalor Dessau eingeschlossen, bereits Wirbelzähler in großer Vielfalt herstellen, ist die Phase der Entwicklung noch nicht abgeschlossen. Ausdruck dieser Suche nach optimalen bzw. noch nicht patentrechtlich geschützten Formen ist u. a. die im Bild 5 dargestellte Auswahl von Störkörperformen. Es ist ein Arbeitsfeld für die Standardisierung. Gleiches gilt für die zur Wandlung der durch die Wirbel verursachten Strömungswechselgrößen Geschwindigkeit bzw. Druck in elektrische Signale. Durch sie werden maßgeblich die Einsatzgrenzen (Fluid, Druck, Fluidtemperatur) bestimmt.

Bild 6 zeigt eine Auswahl von teils in Geräten realisierten Abtastsystemen. Aufgrund des hohen Entwicklungsstandes der piezokeramischen Sensorproduktion sind die beiden letzten Varianten die am erfolgversprechendsten.

Die in der DDR im VEB Junkalor Dessau, im IfR Berlin, an der IHS Dresden und im WB Meß- und Automatisierungstechnik der Sektion Energieumwandlung der TU Dresden hierzu koordiniert durchgeführten Entwicklungsarbeiten lassen den berechtigten Schluß zu, daß schon sehr bald für Meßaufgaben, die bisher nur mit Wirkdruckanlagen bewältigt wurden, mit gleichbleibender und höherer Zuverlässigkeit und Genauigkeit Wirbelzähler verwendet werden können. Erste Geräte sind bereits im Einsatz.

Das Korrelationsverfahren ist das jüngste in die industrielle Mengen- und Mengenstrommeßtechnik eingeführte Meßverfahren.

Erläuternd zum Korrelationsverfahren seien hier nur die Aspekte genannt, die dieses Verfahren als alternative Lösung erscheinen lassen.

Bild 7 zeigt das Prinzip des Verfahrens. Einphasige Strömungen sind u. a. auch gekennzeichnet durch stochastische Temperatur-, Druck- und Dichteschwankungen. Bei Mehrphasen- bzw. Mehrphasen-Mehrkomponenten-Strömungen treten diese stochastischen Schwankungen besonders deutlich durch Konzentrationsunterschiede auf (Dampfnässe-, Gasblasen-, Feststoffteilchenverteilung). Zur Volumenstrommessung genügt es, die Laufzeit einer solchen stochastischen Schwankungsgröße zwischen den Punkten A und B zu bestimmen.

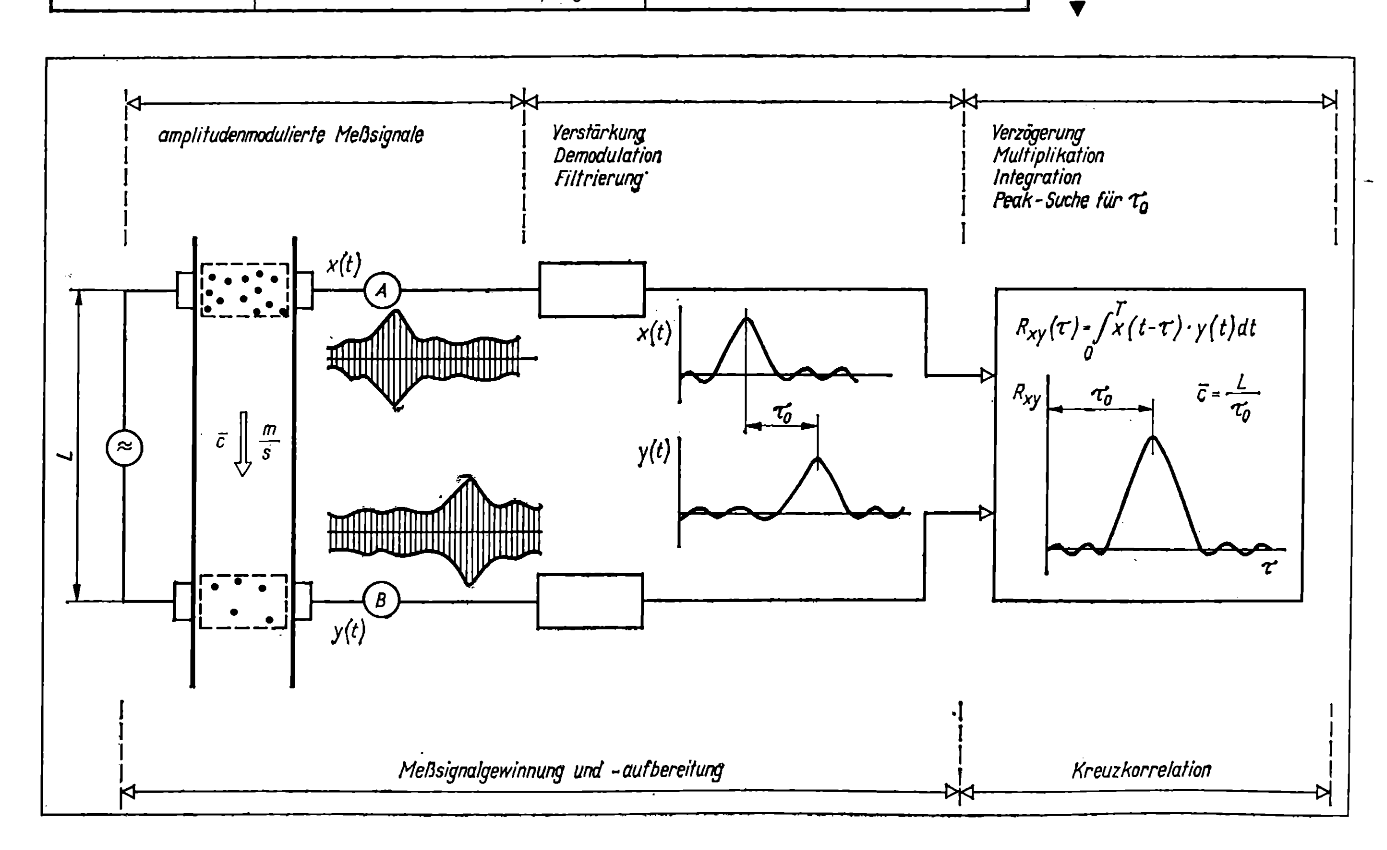
Die Kreuzkorrelation des Signals $y(t)$ und des um die Zeit τ verzögerten Signals $x(t-\tau)$ ergibt für die Laufzeit τ_0 ein Maximum

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{T}\int_0^T x(t-\tau)\cdot y(t)\,dt\,. \qquad (1)$$

Sensorprinzipe	Konstruktive Varianten	Funktion
thermoresistiv	$\vec{c}$ ① $\vec{c}$	• geheizte Thermistoren ① werden durch wechselnde Strömungsrichtung alternierend unterschiedlich gekühlt • Abbildung der Wirbelfrequenz als Widerstandsänderung, Wandlung in Spannungsimpulse • Anordnung der Thermistoren an Frontplatte oder in Zentralbohrung des Störkörpers
induktiv	$\vec{c}$ A ② A	Schnitt A-A ③ Kugel, Platte oder Zylinder aus Nickel ② wird durch Wechseldruck auf und ab bewegt und ändert Induktivität der Spule ③
kapazitiv piezoelektrisch piezoresistiv (Wechseldrucksensoren)	$\vec{c}$ ⑤ ④	Die Frequenz des mit der Ablösung der Wirbel erzeugten Wechseldruckes wird mit Drucksensoren im Störkörper ⑤ oder in der Rohrwand ④ als Spannungs-Impulse abgebildet.
piezoelektrisch piezoresistiv (Schwingungssensoren)	$\vec{c}$ ⑥	Die wirbelfrequenten Druckunterschiede auf beiden Seiten des Störkörpers bewirken Auslenkung der Schwingfahne, deren Frequenz z.B. mit piezokeramischen Biegeschwingern ⑥ erfaßt wird.
piezoelektrisch (Ultraschall)	Ultraschall-Sender $\vec{c}$ Empfänger	Wirbel bewirken Amplitudenmodulation des Ultraschallsendesignals. Frequenz der demodulierten Empfängerspannung ist volumenstromproportional. **Vorteil:** Anordnung der Sensoren an Rohraußenwand möglich, keine Temperatur-, Druck- und Fluidbegrenzungen.

Bild 6. Zusammenstellung von Möglichkeiten der Erfassung der Wirbelfrequenz

Bild 7. Prinzip der Korrelationsdurchflußmessung mit Ultraschallsensoren ▼



Die Geschwindigkeit ergibt sich aus (2)

$$\bar{c} = \frac{L}{\tau_0}. \quad (2)$$

Beck [5] hat durch entscheidende Beiträge die Grundlagen für die Aufbereitung der Theorie der Korrelationsmeßtechnik für die Durchflußmeßtechnik gelegt. Ähnlich wie beim Wirbelfrequenzverfahren kann man eine Vielzahl von Sensoren (thermische, kapazitive, optische, piezoelektrische, radiometrische u. a.) an das Herzstück einer solchen Meßeinrichtung, den Korrelator, anschließen. Auch hier gelten die bereits erwähnten Einsatzgrenzen aufgrund der verfügbaren Sensoren, die mit Sorgfalt für die jeweilige Meßaufgabe angepaßt werden müssen.
Die große Bedeutung des Verfahrens wird aber deutlich, wenn wir ein Meßsystem, bestehend aus Ultraschallsensoren und Korrelator, betrachten (Bild 7).
Die Ultraschallsensoren, in „Champ-on"-Version außen an die Rohrwand angekoppelt, gestatten die Messung des Volumenstromes ohne jede Berührung mit dem Fluid.
Das Gerät eignet sich deshalb vorzüglich für die Messung feststoffbeladener Gas- und Flüssigkeitsströmungen sowie aggressiver und stark korrosiver Strömungsmedien hoher Temperatur und Drücke.
Es eignet sich weiter gut zur Diagnose, da nur mit Kenntnis des Rohrinnendurchmessers (ohne jegliche Unterbrechung des Betriebes infolge Installation von Meßtechnik in der Rohrleitung) Volumenströme gemessen werden können. Die Anwendung auf offene Kanalströmungen ist ebenfalls möglich.
Aber auch wenn mit integrierten Korrelatorschaltkreisen oder mit Polaritätskorrelatoren, seien sie mit Software und Mikrorechner oder rein mit Hardware realisiert, relativ billige Lösungen gefunden wurden, die Meßeinrichtung wird in den nächsten Jahren teuer bleiben.
Es wäre auch unrealistisch anzunehmen, daß trotz der großen Bedeutung in absehbarer Zeit serienmäßig hergestellte Korrelatoren für den Einsatz in der Mengen- und Durchflußmeßtechnik bereitstehen werden.
Man muß aber erreichen, daß im Rahmen des wissenschaftlichen Gerätebaues mehrere Korrelations-Durchflußmeßsysteme gefertigt werden, mit denen in ausgewählten Einrichtungen Systemlösungen für verschiedene Meßprobleme erarbeitet und getestet werden und auf Wunsch Interessenten der Industrie für begrenzte Zeit zur Verfügung gestellt werden.
Im ZfK Rossendorf der AdW der DDR werden hierbei bereits Pionierdienste geleistet. Die Koordinierung könnte der FUA Durchflußmeßtechnik der WGMA übernehmen.

2.3. *Entwicklung neuartiger Durchflußsensoren*

Neben der Arbeit zur Entwicklung der bisher genannten Systemlösungen sind die Anstrengungen zu verstärken, neue Sensorprinzipe für die Mengen- und Durchflußmeßtechnik zu finden und für den praktischen Einsatz weiterzuentwickeln. Die Anwendung von Halbleiter-, Dünnschicht- und Filmtechnologien wird auch auf dem Gebiet der Durchflußmeßtechnik zu neuartigen Sensoren führen. Hier bedarf es systematischer Entwicklungsarbeit.

3. Aufforderung an die Meßtechniker

Es sollte deutlich werden, daß sich nach Jahren der Stagnation, der Festlegung auf ein eng begrenztes Produktionsprogramm an Mengen- und Mengenstrommeßtechnik, dem Meßtechniker der DDR eine Vielfalt von Möglichkeiten für die Lösung der wichtigen Meßaufgaben eröffnen, die als echte Alternativen zur konventionellen Mengenstrommeßtechnik bezeichnet werden können. Diese Überzeugung ist aus den Entwicklungs- und Produktionsvorhaben der DDR-Meßgeräteindustrie ableitbar, aber auch aus zwei Dokumenten der jüngsten Zeit. So wurde eine „Konzeption zur Entwicklung der Sensortechnik bis 1990 im Industriebereich Elektrotechnik/Elektronik" erarbeitet, und ein Beschluß des Ministerrates der DDR vom April 1983 befaßt sich mit der Entwicklung der Meß- und Prüftechnik in der DDR. Es wurde ein Grundsortiment von Sensoren für die 10 wichtigsten Meßgrößen verbindlich festgelegt, das in Verantwortung der Kombinate zu entwickeln und zu produzieren ist.
Es ist nun Aufgabe des Meßtechnikers, die sich mit den neuen Sensoren (gepaart mit neuen Signalverarbeitungsverfahren) ergebenden Möglichkeiten für die Mengen- und Durchflußmeßtechnik zu erkennen und auf die konkrete Meßaufgabe anzuwenden.
Die Erscheinung, daß Mengen- und Durchflußmeßgeräte zu sehr unterschiedlichen Preisen angeboten werden, wird weiter bestehen bleiben, die Spanne wird sich mit den dargestellten neuen Systemlösungen sogar erweitern.
Der fundierte Preis/Leistungs-Vergleich und die notwendige Entscheidung für eine Lösung ist heute und wird auch in Zukunft nur dem Fachmann der Mengen- und Durchflußmeßtechnik möglich sein. Die Arbeiten zur Systematisierung und zur Darstellung von Auswahlkriterien müssen deshalb zielstrebig weitergeführt werden.
Die Bedeutung der Mengen- und Durchflußmeßtechnik bei der Durchsetzung von Maßnahmen der rationellen Material- und Energieanwendung, sei es beim Einsatz zur Prozeßsteuerung, bei der Anlagendiagnose oder der Bilanzierung und Verrechnung von Material- und Energieströmen, ist offensichtlich.
Es gilt, für die noch nicht bzw. unbefriedigend gelösten Meßaufgaben neue Systemlösungen zu erarbeiten. Die aufgezeigten Möglichkeiten sollen Anregung dafür sein.

Literatur

[1] *Engelhardt, H.:* Wer die Wahl hat, hat die Qual. Krohne MSR Technik (1980) 9, S. 42–48.
[2] *Hayward, A. T. J.:* How to choose a flowmeter. The Chartered Mechanical Engineer., February 1975.
[3] *Cschornack, P.:* Probleme und Entwicklungstendenzen der Durchflußmeßtechnik in der Chemie-Industrie. msr, Berlin 24 (1981) 8, S. 448–452.
[4] *Mannion, J. R.; Casedy, G. A.:* Fluid flow meter selection. Heating/Piping/Air Conditioning, May 1982.
[5] *Beck, M. S.:* Correlation in instruments: cross correlation flowmeters. Journal of the Institute of Physics. E: Scientific Instruments 14 (1981) 1, pp. 7 to 19.

msr 8016

E. Kaiser[1])

Interferometrische Temperaturfeldmessung für einen thermischen Fluidgeschwindigkeitsaufnehmer[2])

0. Einleitung

Thermische Geschwindigkeitsaufnehmer sind in einigen Fällen der Geschwindigkeits- und Durchflußmessung und -überwachung vorteilhafter als Staurohre, Kapillar- und Schwebekörperdurchflußmesser. Als Meßprinzip wird die Abhängigkeit der Übertemperatur eines beheizten Körpers oder seiner Umgebung von einer konvektiven Wärmeabfuhr und damit von der Fluidgeschwindigkeit genutzt. Von den bekannten Bauelementen für Wärmequelle und Temperaturaufnehmer, wie Hitzdraht, punktförmige NTC-Halbleiter und Schichtwiderstände, interessieren hier letztere. Die meßtechnischen Eigenschaften werden von Bedingungen des Wärmetransports bestimmt (Überlagerung von freier und erzwungener Konvektion, gekoppelter Wärmetransport im Fluid und im Substrat, Eindringtiefe des Temperaturfeldes in die Strömung). Eine rückwirkungsfreie Untersuchung der Fluidtemperaturverteilung in der Umgebung eines thermischen Geschwindigkeitsaufnehmers ist interferometrisch möglich. Dabei sind die geringe Empfindlichkeit bei kurzen Durchstrahlungslängen und die Mittelung längs des Strahlweges zu bedenken. Es wird über eine Empfindlichkeitssteigerung mit einer Mehrweganordnung der holografischen Interferometrie

[1]) Dr. sc. techn. *Erwin Kaiser* (44) studierte von 1958 bis 1964 Maschinenbau an der TU Dresden. Ab 1964 Assistent am Maschinenlaboratorium der TU Dresden. 1969 Dissertation A. 1982 Dissertation B zum Thema „Wärmestrommessung an Oberflächen". Seit 1969 Lektor im WB Meß- und Automatisierungstechnik der Sektion Energieumwandlung der TU Dresden.

[2]) Nach einem Postervortrag zum 3. Kolloquium „Meßtechnik für thermische Energieanlagen" der TU Dresden (13. und 14. April 1983).

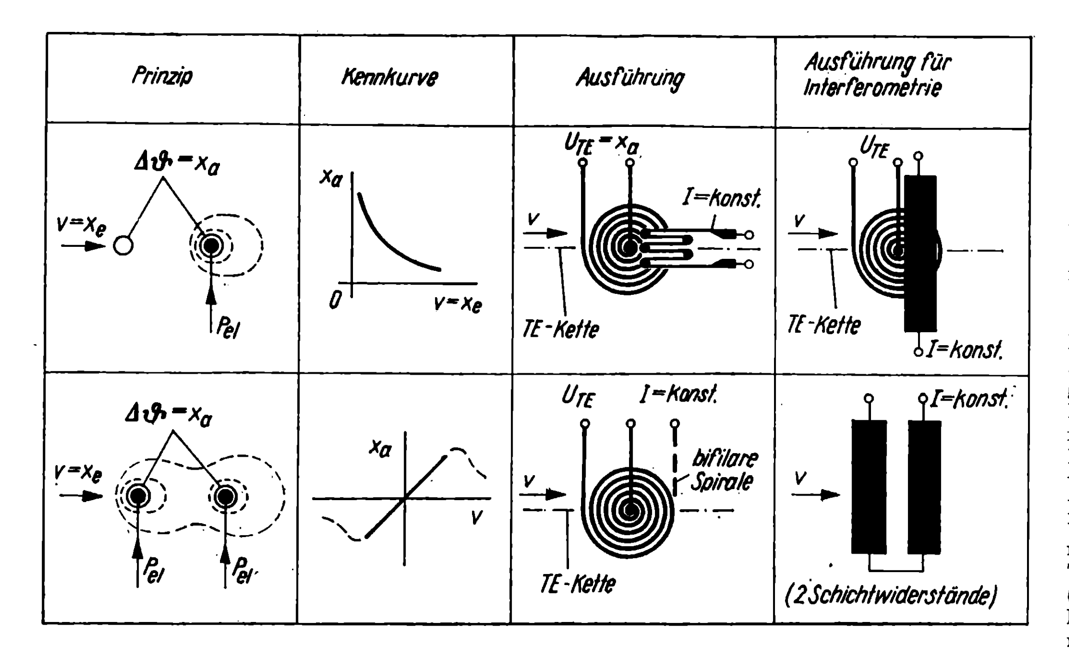


Bild 1. Schematische Darstellung der untersuchten Geschwindigkeitsaufnehmer

Strömungsquerschnitt [2] oder an der Wand [2] und [7]). Bei der thermischen Kopplung von zwei Heizelementen (Differentialanordnung) ist das von der freien Konvektion hervorgerufene Störsignal kompensiert (zwei Pt-Drähte [13], zwei Schichtwiderstände, Thermokette, Bild 1). Die genannten Anordnungen und Ausführungen unterscheiden sich nach Kennkurventyp und Meßbereich.

Die interferometrischen Untersuchungen wurden für temperaturempfindliche Schichtwiderstände und aus Dehnungsmeßstreifen hergestellte Thermoketten durchgeführt (Bild 1). Für die Geschwindigkeitsmessung in der interferometrischen Anordnung wurde die halbseitige Heizung der Thermokette durch ein in der Durchstrahlrichtung aufgeklebtes Cr-Ni-Heizband (Querschnitt 0,1 × 3 mm²) ersetzt (1. Anordnung im Bild 1). Die Differentialanordnung mit zwei Schichtwiderständen wurde mit zwei, auf Al_2O_3-Keramik liegenden Heizbändern nachgebildet.

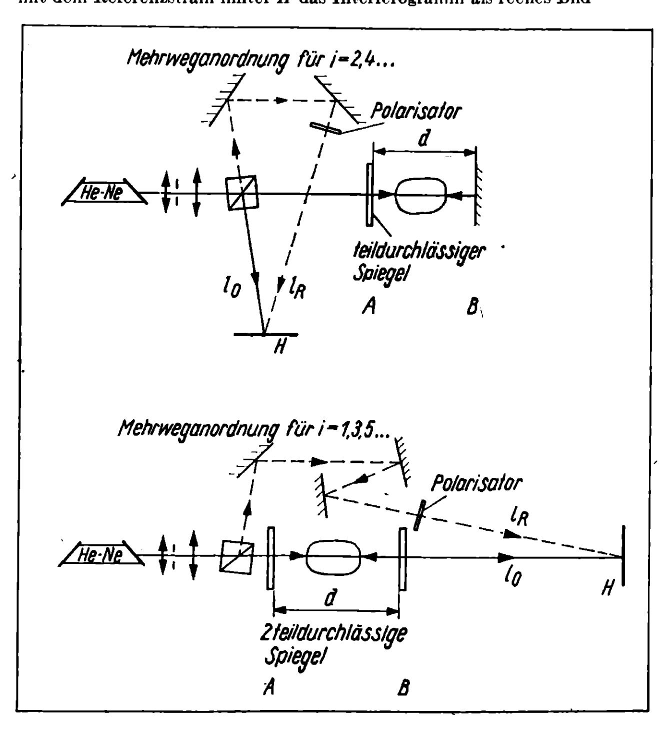
und über Aussagen der Interferogramme für die untersuchten thermischen Geschwindigkeitsaufnehmer berichtet.

1. Thermische Geschwindigkeitsaufnehmer

In der einfachsten Ausführung sind Heizung und Temperaturaufnehmer in einem Körper vereinigt (Hitzdraht-, Hitzfilmanemometer, beheiztes Thermoelement, NTC-Widerstand [2] [4] [5] und [10]). Die Abhängigkeit der Kennkurve von der Fluidtemperatur kann mit einem zweiten Temperaturaufnehmer in der Zuströmung erfaßt werden (zwei Widerstände [3] und [4], Thermokette mit Heizer [8] und Bild 1). Die zwei Temperaturaufnehmer und die Heizung können auch räumlich getrennt sein (Heizdraht zwischen zwei Pt-Drähten [13], Aufheizung über

Bild 2. Mehrweganordnung für holografische Interferometrie

Der Geschwindigkeitsaufnehmer ist auf der Grundplatte eines rechteckigen Strömungskanals mit Piacrylfenstern zwischen den Spiegeln A, B angeordnet. Die Strömungsrichtung der Luft liegt senkrecht zur Bildebene. Mit dem Polarisator (VEB Carl Zeiss JENA, M 49 P) kann die Intensität des Referenzstrahles vermindert werden. Die Fotoplatte H (ORWO LP 2) wird über einen Verschluß nach dem He-Ne-Laser bei ein- und ausgeschalteter Aufnehmerheizung (I) belichtet (Doppelbelichtungsmethode und unendliche Streifenbreite). Nach der Entwicklung (ORWO MH 28) zu einem Hologramm erscheint bei Beleuchtung mit dem Referenzstrahl hinter H das Interferogramm als reelles Bild



2. Holografische Interferometrie

Die Phasendifferenz zwischen Objekt- und Referenzstrahl wird als Hologramm (Bild 2) gespeichert. Die holografische Interferometrie stellt im Vergleich zur klassischen geringere Anforderungen an die optischen Bauelemente und deren Justierung und läßt weitere interferometrische Möglichkeiten zu. Die Nachteile sind u. a. der größere fototechnische Aufwand und eine geringere Bildqualität. Von der Interferometrie ist bekannt, daß die einem Interferenzstreifenabstand zuzuordnende Temperaturdifferenz für Abmessungen eines erwärmten Luftbereiches (Objektlänge l) unter 50 mm hyperbelartig ansteigt:

Aus der optischen Weglängendifferenz

$$\Delta\Phi = [n(T) - n(T_0)] \cdot l = N \cdot \lambda \quad (1)$$

mit Brechzahl n, Bezugstemperatur T_0, Objektlänge l, Interferenzstreifenordnung N und Wellenlänge λ und der Temperaturabhängigkeit der Brechzahl von Luft

$$n = 1 + (0{,}07967\ \mathrm{K/T}) \quad (2)$$

folgt für isobare Bedingungen

$$T = \left(\frac{N \cdot \lambda}{l \cdot 0{,}07967\ \mathrm{K}} + \frac{1}{T_0}\right)^{-1} \quad (3)$$

mit $N < 0$ für $n(T) - n(T_0) < 0$.

Für Objektlängen von 10 bis 40 mm liegt das Produkt von Temperaturdifferenz ΔT für einen Streifenabstand und Objektlänge l zwischen 0,7 und 0,8 K · m. Zur Empfindlichkeitssteigerung sind viele Verfahren bekannt, die mit mehreren Strahlen oder mit verlängerten Objektdurchgängen arbeiten oder nichtlineare Effekte der fotografischen Schicht nutzen [9] [11] und [12]. Mit der Anwendung solcher Verfahren für fluide Objekte steigt der geräte-, justier- und fototechnische Aufwand; deshalb werden sie soweit wie möglich vermieden [12].

Die effektive Objektlänge wird mit geringem Aufwand und guten Ergebnissen verdoppelt, wenn der Objektstrahl nach dem Objekt auf einen undurchlässigen Spiegel trifft (Michelson-Interferometer, Bild 2, oben ohne teildurchlässigen Spiegel). Die Hologrammaufzeichnung erfolgte nach der Doppelbelichtungsmethode. Die bekannten Bedingungen für guten Kontrast wurden eingehalten: Objektstrahlweg l_0 = Referenzstrahlweg l_R und Intensitätsverhältnis $I_0/I_R = 0{,}3$.

Für mehr als zwei Durchgänge werden ein oder zwei teildurchlässige Spiegel benötigt (Bild 2). Jeder auf die Fotoplatte zurückkehrende Strahl kann zu weiteren Interferenzstreifen führen, die sich vermischen, weil der Strahl durch Parallelitätsabweichungen der Spiegel auswandert (Walk-Effekt). Eine Grenze ist der für den verwendeten Laser maximal zulässige Wegunterschied zwischen Referenz- und Objektstrahl ($\Delta l = l_R - l_0$),

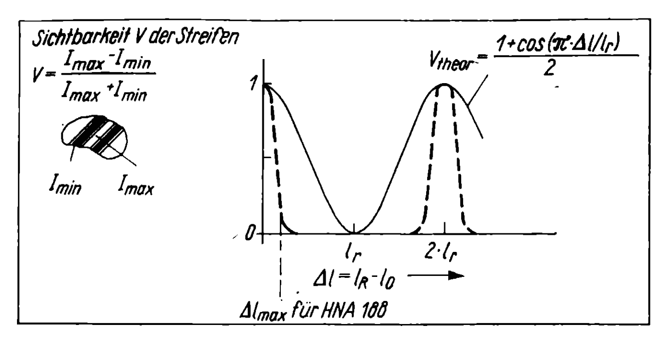


Bild 3. Sichtbarkeit V der Interferenzstreifen in Abhängigkeit vom Unterschied zwischen Referenz- und Objektstrahlweg ($\Delta l = l_R - l_0$)

Durchgezogene Kurve nach V_{theor} (aus [6]) mit $l_r = 1880$ mm als Resonatorlänge des Lasers HNA 188; gestrichelte Kurve nach visueller Beurteilung von eigenen Aufnahmen ($\Delta l_{max} \approx 400$ mm)

nach dessen Überschreitung kein Hologramm mehr entsteht (Bild 3). Diese Bedingung wurde in [11] für interferometrische Anordnungen mit mehrfachem Strahldurchgang für die Unterdrückung störender Interferenzstreifen genutzt, indem der Abstand zwischen zwei halbdurchlässigen Spiegeln etwas größer als die Hälfte von Δl_{max} ausgeführt war. In der Anordnung für geradzahlige Durchgänge wurden sechs Durchgänge erreicht [11].

Die Sichtbarkeit V oder der Kontrast der Interferenzstreifen ist eine periodische Funktion, deren Periodendauer die doppelte Resonatorlänge l_r des verwendeten Lasers ist ([6] [11] und Bild 3). Der praktisch nutzbare Bereich von Δl ist kleiner. Für einen He-Ne-Laser HNA 188 ($l_r = 188$ cm; VEB Carl Zeiss JENA) wurde aus Hologrammrekonstruktionen visuell ein Sichtbarkeitsbereich $\Delta l = 0$ bis 40 cm ermittelt (Bild 3).

Der Anteil des Objektstrahls nach dem i-ten Durchgang (I_i) an der auf die Fotoplatte treffenden Intensität (I_{ges}) soll so groß wie möglich sein. Eine Berechnung der relativen Intensität (I_i/I_{ges}) für senkrechten Strahldurchgang für Anordnung $i = 2, 4, \ldots$ (Bild 2 oben)

$$I_i/I = \varrho_A^{i/2-1} \varrho_B^{i/2} \cdot \tau_A^2 , \quad (4)$$

für Anordnung $i = 1, 3, \ldots$ (Bild 2 unten)

$$I_i/I = (\varrho_A \cdot \varrho_B)^{i-1/2} \cdot \tau_A \cdot \tau_B \quad (5)$$

mit Reflexions- und Transmissionsgraden ($\varrho + \tau = 1$) einiger Laserspiegel (Carl Zeiss JENA) zeigt, daß die in [11] verwendeten halbdurchlässigen Spiegel ($\varrho = 0,5$) nicht die besten Werte liefern (Tafel 1).

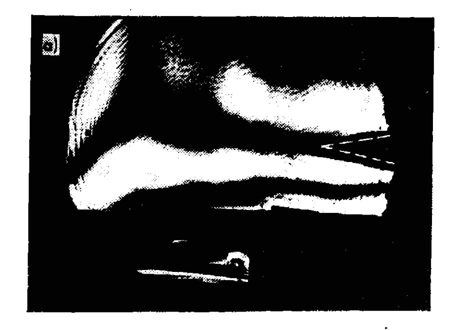
Für die Anordnung $i = 2, 4, \ldots$ (Bild 2 oben) wurde ein teildurchlässiger Spiegel mit $\varrho_A = 0,29$ und für die Anordnung $i = 1, 3, \ldots$ (Bild 2 unten) ein Spiegel mit $\varrho_{A,B} = 0,60$ verwendet.

Bild 4 zeigt zwei Interferogramme nach ein und fünf Durchgängen in der Anordnung mit zwei teildurchlässigen Spiegeln ($\varrho_A = \varrho_B = 0,6$). Der Spiegelabstand betrug $d = 200$ mm $= 0,5 \cdot \Delta l_{max}$. Aus der vorgegebenen Durchgangszahl ergibt sich der Objektstrahlweg l_0, der Referenzstrahlweg l_R wird nach der Bedingung $l_0 = l_R$ eingerichtet (Tafel 2).

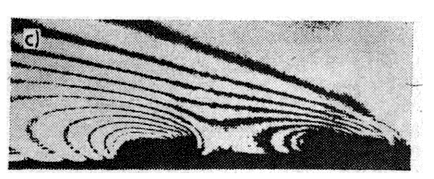
Zur Einschätzung des Spielraumes bei der Einrichtung des Spiegelabstandes wurden Vergleichsmessungen mit $(d/\Delta l_{max}) = 0,41$; 0,50 und 0,56 ausgeführt. Es ergaben sich keine Unterschiede in der Streifensichtbarkeit.

Die Spiegel und das Objekt wurden mit Hilfe einer Lochblende justiert. Die Spiegelparallelität kann nach den am Fotoplattenort entstehenden Interferenzstreifen (Fabry-Perot-Interferometer) beurteilt werden, der Streifenabstand soll so breit wie möglich sein. Die Beugungen an den Körperkanten und damit die Schwierigkeiten beim geometrischen Auswerten der Interferogramme nehmen mit der Anzahl der Durchgänge zu. Die Oberflächenkoordinate wird je nach den Meßbedingungen nach einem Fadenkreuz, nach Schattenaufnahmen oder mit einer Oberflächentemperaturmessung festgelegt. Letztere dient auch zur Kontrolle der Empfindlichkeitssteigerung.

Bild 4. Interferogramme







a) freie Konvektion in Luft über Heizband mit 70 mm Länge in Durchstrahlungsrichtung (3 mm breit; mit Epoxidharz auf Al_2O_3-Substrat geklebt; einfacher Objektstrahlweg ($i = 1$) nach Anordnung Bild 2 unten ohne teildurchlässige Spiegel; die Spitze der Marke liegt 5 mm über Heizbandmitte; Heizbandübertemperatur $\Theta_{TE} = 40$ K

b) wie a) aber mit fünffachem Objektstrahldurchgang ($i = 5$) zwischen zwei teildurchlässigen Spiegeln ($\varrho_{A,B} = 0,60$; freier Spiegeldurchmesser 19 mm; Spiegelabstand $d = 200$ mm); Heizbandübertemperatur $\Theta_{TE} = 38,8$ K

c) erzwungene Konvektion in Luft ($v = 17$ cm/s) über zwei frei aufgespannte Heizbänder (100 mm Länge in Durchstrahlungsrichtung; 6 mm Abstand); zweifacher Objektstrahlweg ($i = 2$) nach Anordnung Bild 2 oben ohne teildurchlässigen Spiegel; Heizbandübertemperatur $\Theta_{TE} = 53,8$ K

Tafel 2. Effektiver Lichtweg l zwischen den Spiegeln für eine vorgegebene Durchgangszahl und Bedingungen für die Unsichtbarkeit der Interferenzstreifen der übrigen Durchgänge

Einfachweg: $l = d \geqq 0,5 \cdot \Delta l_{max}$; $|l_0 - l_R|^* \geqq \Delta l_{max}$
Dreifachweg: $l = 3d \geqq 1,5 \cdot \Delta l_{max}$; $|l_0 - l_R|^* \geqq \Delta l_{max}$
Fünffachweg: $l = 5d \geqq 2,5 \cdot \Delta l_{max}$; $|l_0 - l_R|^* \geqq \Delta l_{max}$

(l effektiver Lichtweg durch Objekt; $|l_0 - l_R|^*$ Wegdifferenz der übrigen Durchgänge)

Tafel 1. Relative Intensität nach dem i-ten Durchgang

Anordnung	Spiegel	I_i/I_{ges} für $i = 0$	1	2	3	4	5	$I_{ges} = \sum_i I_i$
$i = 2, 4, \ldots$	$\varrho_B \approx 1$							
	$\varrho_A = 0,29$	0,292		[0,507]		[0,147]		0,995 ($i = 8$)
	$\varrho_A = 0,50$	0,508		0,254		0,127		0,984 ($i = 10$)
	$\varrho_A = 0,60$	0,611		0,163		0,098		0,981 ($i = 12$)
$i = 1, 3, \ldots$	$\varrho_{A,B} = 0,29$		0,922		0,078			0,546 ($i = 3$)
	$\varrho_{A,B} = 0,50$		0,753		0,138		0,047	0,332 ($i = 7$)
	$\varrho_{A,B} = 0,60$		0,644		[0,232]		[0,084]	0,248 ($i = 9$)

(I_{ges} von der Eingangsintensität $I = 1$ auf die Fotoplatte gelangende Intensität bis zum i-ten Durchgang mit $I_i/I_{ges} \geqq 0,01$)

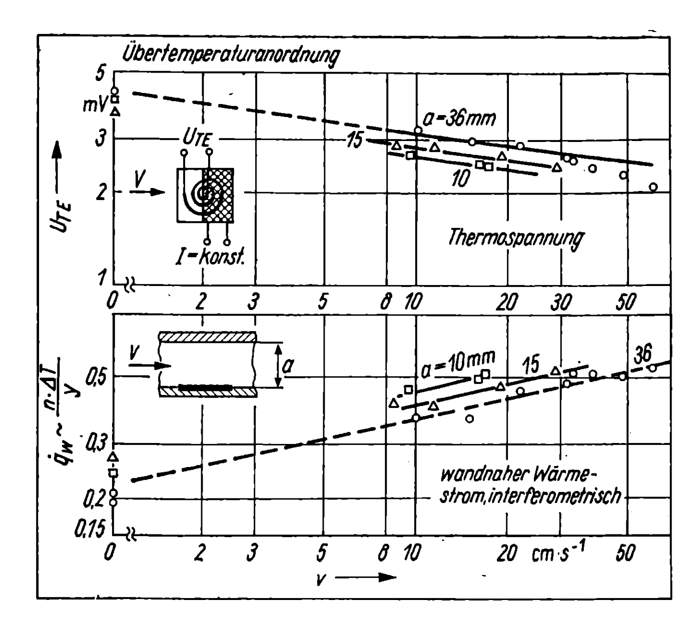


Bild 5. Kennkurven eines Geschwindigkeitsaufnehmers nach Bild 1 (oben) in Luft für verschiedene Abstände (a) der Gegenwand (PVC)

Die Luftgeschwindigkeit v wurde mit einem Niedergeschwindigkeitsanemometer (DISA Typ 55 D 80) bei ausgeschalteter Heizung am untersuchten Aufnehmer gemessen

oben: Erhöhung der Thermokettenspannung ($U_{TE} = x_a$) bei geringeren Wandabständen (a)

unten: Erklärung dieses Effektes durch höhere Wärmestromdichte ($\dot{q}$) über dem Geschwindigkeitsaufnehmer

3. Auswertung

In den Bildern 5 und 6 sind einige Kennkurven der untersuchten Geschwindigkeitsaufnehmer mit der elektrischen Ausgangsgröße und mit interferometrisch ermittelten Größen (Temperatur und Temperaturgradient in der Strömungsgrenzschicht) dargestellt.

Die erste Aussage gilt dem Wandeinfluß, der als schwierig zu erfassender Fehler bei Hitzdraht-Anemometermessungen bekannt ist [1]. Je höher die Wärmeleitfähigkeiten der Wand und des Fluids ist, um so größer ist die zusätzlich zur Konvektion wirkende Wärmeabfuhr bzw. die gemessene Scheingeschwindigkeit. Bild 5 zeigt die geringere Übertemperatur des Heizelements und den größeren Fluidtemperaturgradienten beim kleineren Wandabstand (a). Dieser Aufnehmertyp wurde für Geschwindigkeitsmessungen in exzentrischen, wasserdurchströmten Ringspalten eingesetzt [8]. Bei thermischen Durchflußmessern sind das Heizelement und die Temperaturaufnehmer in der Wand oder im Strömungsquerschnitt fest eingebaut, ein Wandeinfluß wird eingemessen. Beim Entwurf interessiert jedoch die Temperaturfeldausdehnung, um den erfaßten Querschnitt zu kennen.

Weiterhin ist eine Aussage zur thermischen Kopplung von zwei Heizbändern in einer Differentialanordnung möglich (Bild 6). Innerhalb der untersuchten Abstandsverhältnisse (a/b) ist die Empfindlichkeit bei der engsten Anordnung am größten und der Meßbereich am kleinsten. Dieses ordnet sich in Untersuchungsergebnisse an zwei Platindrähten ein [13].

Zusammenfassung

Für Konvektionsuntersuchungen mit Objektabmessungen, Übertemperaturen und Fluidbrechzahldifferenzen, bei denen die Temperaturauflösung der interferometrischen Einweganordnung nicht ausreicht, werden Erfahrungen mit holografischen Mehrweganordnungen mitgeteilt. Auf die Auswertung von Interferogrammen, bei denen die Randkontur des Temperaturfeldes mit Interferogrammen einer zweiten Durchstrahlungsrichtung festgelegt werden muß, wird nicht eingegangen.

Interferometrische Untersuchungen an thermischen Geschwindigkeitsaufnehmern geben Auskunft über den rechnerisch unsicher zu erfassenden, gekoppelten Wärmetransport in Fluid und Wand. Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, daß auch mit den Breitenabmessungen von temperaturempfindlichen Schichtwiderständen Differentialanordnungen möglich sind.

Literatur

[1] *Bhatia, J. C.; Durst, F.; Jovanovic, J.*: Corrections of hot-wire anemometer measurements near walls. J. Fluid Mech., Cambridge (1982) vol. 122, p. 411.
[2] *Bonfig, K. W.*: Technische Durchflußmessung. Essen: Vulkan Verlag Dr. W. Classen Nachf. GmbH & Co KG 1977.
[3] *Fuchs, H.; Kunack, G.*: Sensoren — Bindeglied zwischen Prozeß und Automatisierungseinrichtung. msr, Berlin 25 (1982) 5, S. 277.
[4] *Gertis, H.; Schwarz, B.; Künzel, G.*: Zur Messung kleiner Luftgeschwindigkeiten mit beheizten Sonden. ATM, München (1970) 4, S. 79.
[5] *Häupl, D.; Stopp, H.; Rolle, W.*: Vorrichtung zur Erfassung von Strömungsverhältnissen in Gasen und Flüssigkeiten nach dem thermo-elektrischen Prinzip mit Mantelthermoelementen. msr, Berlin 20 (1977) 8, S. 455.
[6] *Hohmann, P.*: Untersuchungen über die Erhöhung der Auflösung bei der interferometrischen Schwingungsmessung. Dissertation, TH Braunschweig 1971.
[7] *Korotkov, P. A.; London, G. E.*: Dinamičeskie kontaktnye izmerenija teplovych veličin (Dynamische berührende Messungen von wärmetechnischen Größen). Leningrad: Masinostroenie 1974.
[8] *Kaiser, E.*: Thermoketten aus Dehnungsmeßstreifen für die Messung von Wärmestrom und Durchfluß. Tagung Temperatur '80, Suhl 1980.
[9] *Vest, C. M.*: Holographic Interferometry. New York: J. Wiley & Sons 1979.
[10] *Weber, J.*: Thermoelement-Hitzdrahtmanometer zur Grenzschichtmessung bei freier Konvektion in Flüssigkeiten. msr, Berlin 22 (1979) 7, S. 397.
[11] *Weigl, F.; Friedrich, O. M.; Dougal, A. A.*: Non diffuse Holographic Interferometry. IEEE J. Quant. Electron., QE-2 (1970) 1, p. 41.
[12] *Zajdel', A. N.; Ostrovskaja, G. V.*: Lazernye metody issledovanija plazmy (Lasermethoden der Plasmaforschung). Leningrad: Nauka 1977.
[13] *Zehner, B.*: Empfindlichkeit und Rauschen beim Differential-Hitzdraht-Anemometer. Technisches Messen, München 48 (1981) 11, S. 367.

msr 8001

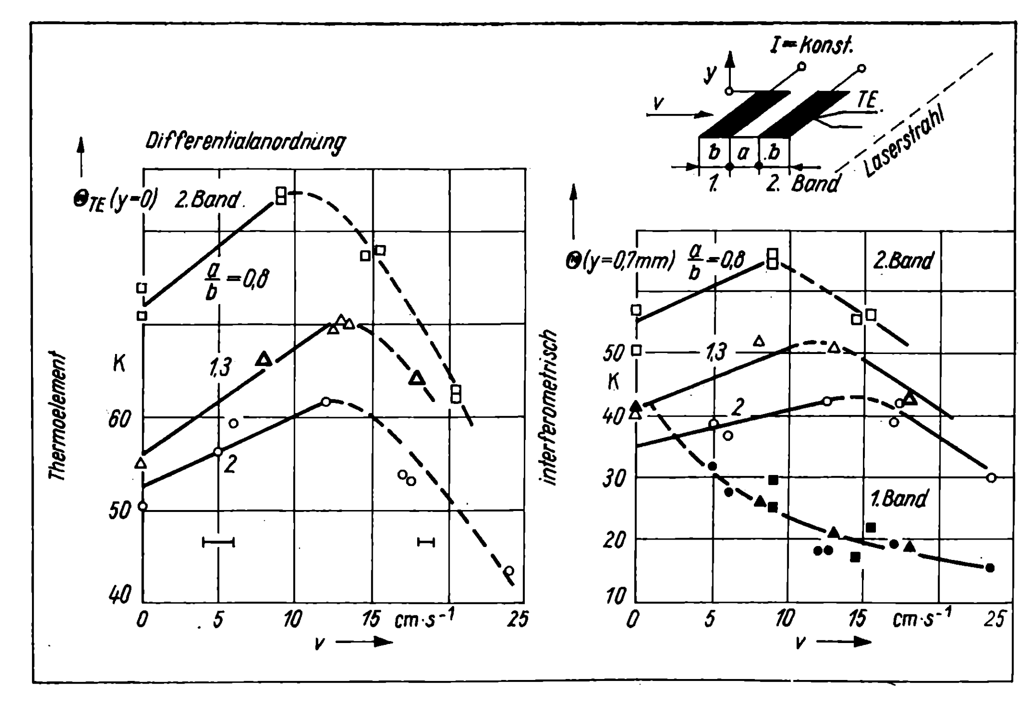


Bild 6. Kennkurven eines Geschwindigkeitsaufnehmers nach Bild 1 unten für verschiedene Abstände (a/b) zwischen den Heizbändern

links: Mit aufgepunktetem NiCr-Ni-Thermoelement (0,1 mm Drahtdurchmesser) gemessene Übertemperatur Θ_{TE} des (in Strömungsrichtung gesehen) zweiten Heizbandes in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit

rechts: Interferometrisch ermittelte Übertemperaturen der Luft ($y = 0,7$ mm über den Heizbandmitten) in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit v

N. Beiermann; H. Kretschmer; R. Eichler; E. Flämig; U. Kath; W. Witke[1])

Messung von Strömungsgeschwindigkeiten und Volumen- bzw. Massenströmen nach einem Laufzeitkorrelationsverfahren[2])

0. Einleitung

Die Messung von Strömungsgeschwindigkeiten und Volumen- bzw. Massenströmen stellt, ungeachtet einer Vielzahl von physikalischen Grundprinzipien und entwickelter Meßgeräte, ein schwieriges Problem dar. Vor allem bei sich während des Betriebes ändernden Stoffwerten, z. B. rheologischen Medien, und bei Mehrphasenströmungen, sind die Ergebnisse vieler Verfahren unbefriedigend. Durch Anwendung des Laufzeitverfahrens [1] und [2] sind in solchen Fällen bessere Ergebnisse möglich.
Grundlage dieses Verfahrens ist die Messung der Laufzeit τ_0 eines Signals zwischen zwei Detektoren, die mit dem Abstand l in Strömungsrichtung angebracht sind. Die Strömungsgeschwindigkeit $\bar{c}$, der Volumenstrom $\dot{V}$ und der Massenstrom $\dot{m}$ berechnen sich zu:

$$\bar{c} = \frac{1}{\tau_0} \qquad (1)$$

$$\dot{V} = \bar{c} \cdot A \qquad (2)$$

$$\dot{m} = \varrho_s \cdot \bar{c} \cdot A\,. \qquad (3)$$

Die Messung der Laufzeit kann dabei einmal mit determinierten Signalen durchgeführt werden, oder es können, unter Anwendung der Korrelationsanalyse [3] bis [11], natürliche stochastische Parameterschwankungen verwendet werden.
Während determinierte Signale schon seit langem Verwendung finden, ist die Benutzung von stochastischen Signalen erst mit der modernen Rechentechnik und Elektronik möglich geworden. Für den Einsatz in der Betriebsmeßtechnik [10] und [15] bis [17] sind erst wenige Beispiele bekannt.
Nachfolgend wird ein Betriebsmeßsystem vorgestellt, das die Messung der Laufzeit mit Hilfe von stochastischen und pseudostochastischen Signalen gestattet. Das Grundgerät ist ein Polaritätskorrelator, der mit entsprechenden Sensoren das Betriebsmeßsystem bildet. Anhand von 3 verschiedenen Sensortypen werden Möglichkeiten für die Durchführung von Betriebsmessungen demonstriert.

1. Prinzip der Messung von Laufzeiten nach dem Korrelationsverfahren

Betrachtet man den Abschnitt zwischen den beiden Sensoren im systemtheoretischen Sinne als lineares, zeitinvariantes Übertragungssystem, so wird das Übertragungsverhalten [7] bei Benutzung von stochastischen Signalen durch die Autokorrelations-(R_{aa}) und Kreuzkorrelationsfunktion (R_{ab}) beschrieben, die wie folgt definiert sind:

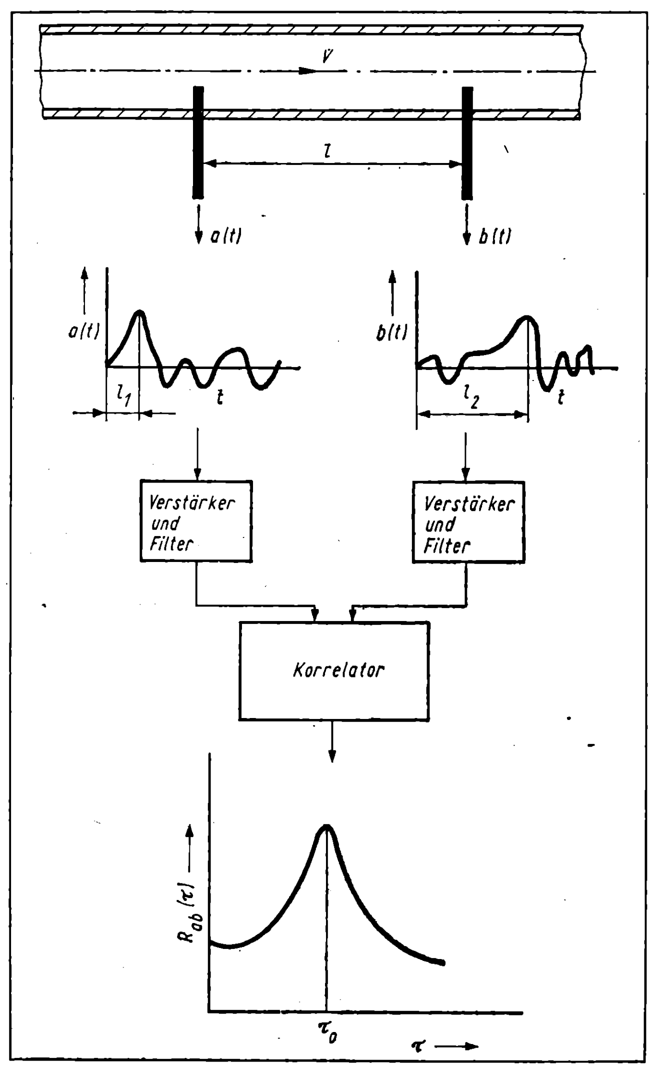


Bild 1. Schematische Darstellung der Laufzeitmeßstrecke und der Korrelationsmeßmethode

$$R_{aa}(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T a(t) \cdot a(t-\tau)\, dt \approx \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} a(t) \times a(t-\tau)\, dt \qquad (4)$$

$$R_{ab}(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T a(t) \cdot b(t-\tau)\, dt \approx \frac{1}{T_M} \int_0^T a(t) \times b(t-\tau)\, dt\,. \qquad (5)$$

Die Kreuzkorrelationsfunktion $R_{ab}(\tau)$ ist dabei das Maß der stochastischen Abhängigkeit der beiden Signale. Auf die Laufzeitmessung angewandt bedeutet das, daß der zum Maximum der Kreuzkorrelationsfunktion gehörende Wert τ_0 der Laufzeit der Strömung entlang der Meßstrecke entspricht (Bild 1). Als Maß zur Beurteilung der Signalähnlichkeit dient der Korrelationskoeffizient $\varrho_{ab}(\tau = \tau_0)$:

$$\varrho_{ab}(\tau = \tau_0) = \frac{R_{ab}(\tau = \tau_0)}{\sqrt{R_{aa}(\tau = 0) \cdot R_{bb}(\tau = 0)}}\,. \qquad (6)$$

$$0 \leq \varrho_{ab} \leq 1\,.$$

---

[1]) Dipl.-Phys. *Norbert Beiermann* (31) studierte von 1973 bis 1978 Physik an der TU Dresden. Ab 1978 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Brennstoffinstitut Freiberg, Arbeitsgebiet Meßtechnik und Radiometrie.

Dipl.-Ing. *Horst Kretzschmar* (45) studierte von 1955 bis 1959 Werkstoffkunde an der Ingenieurschule für Stahlgewinnung Henningsdorf und von 1963 bis 1969 Wärmetechnik an der TH Karl-Marx-Stadt. 1959 bis 1971 Tätigkeit als Kontrollingenieur bzw. TKO-Leiter im VEB Chemieanlagen- und Apparatebau Germania Karl-Marx-Stadt. Ab 1972 wissenschaftlicher Mitarbeiter auf dem Arbeitsgebiet Gaserzeugungsanlagen des Brennstoffinstituts Freiberg.

Dr. rer. nat. *Rolf Eichler* (45) studierte von 1956 bis 1961 Chemie an der TU Dresden. 1961 bis 1966 Assistent am Institut für physikalische und Elektrochemie der TU Dresden. 1966 Promotion auf dem Gebiet der Elektrochemie. Ab 1968 Tätigkeit im Arbeitsgebiet Verfahrenschemie, Extraktionstechnik des ZfK Rossendorf. Gegenwärtig Abteilungsleiter in diesem Arbeitsgebiet.

Dr.-Ing. *Edgar Flämig* (54) arbeitete von 1948 bis 1949 als Praktikant im VEB NAGEMA Aue (Sa.) und von 1949 bis 1950 im VEB IKA-Elektroinstallation Annaberg (Erzgeb.). Von 1951 bis 1952 Studium der Elektrotechnik an der TH Dresden und von 1952 bis 1958 Studium der Meß- und Regelungstechnik in Leningrad. 1983 Promotion auf dem Gebiet der elektro-kinetischen Durchflußmessung. Ab 1958 Tätigkeit im wissenschaftlichen Gerätebau des ZfK Rossendorf. Jetzt Leiter der HA Entwicklung und Konstruktion des wissenschaftlichen Gerätebaus im ZfK.

Dipl.-Ing. *Ulrich Kath* (36) war von 1964 bis 1967 Maschinist für Dampferzeugung in der Zentralwerkstatt Regis. 1967 Kesselmaschinist im Braunkohlenwerk Borna. 1967 bis 1971 Studium der Wärmetechnik an der TU Dresden. 1971 bis 1977 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Arbeitsgebiet Natriumtechnik und -technologie des Kombinats Kraftwerksanlagen. Ab 1977 wissenschaftlicher Mitarbeiter im ZfK Rossendorf, Arbeitsgebiet Prozeßmeßtechnik.

Dipl.-Ing. *Willy Witke* (44) erlernte den Beruf eines Maschinenschlossers. Bis 1962 Studium an der Ingenieurschule für Flugzeugbau Dresden. 1963 bis 1969 Abend- bzw. Fernstudium der Regelungstechnik an der TU Dresden. Ingenieurberufliche Tätigkeiten von 1962 bis 1966 an der TU Dresden und von 1966 bis 1973 am Institut für Chemieanlagen Dresden. Ab 1973 wissenschaftlicher Mitarbeiter im ZfK Rossendorf.

[2]) Nach einem Vortrag zum 3. Kolloquium „Meßtechnik für thermische Energieanlagen" der TU Dresden (13. und 14. April 1983).

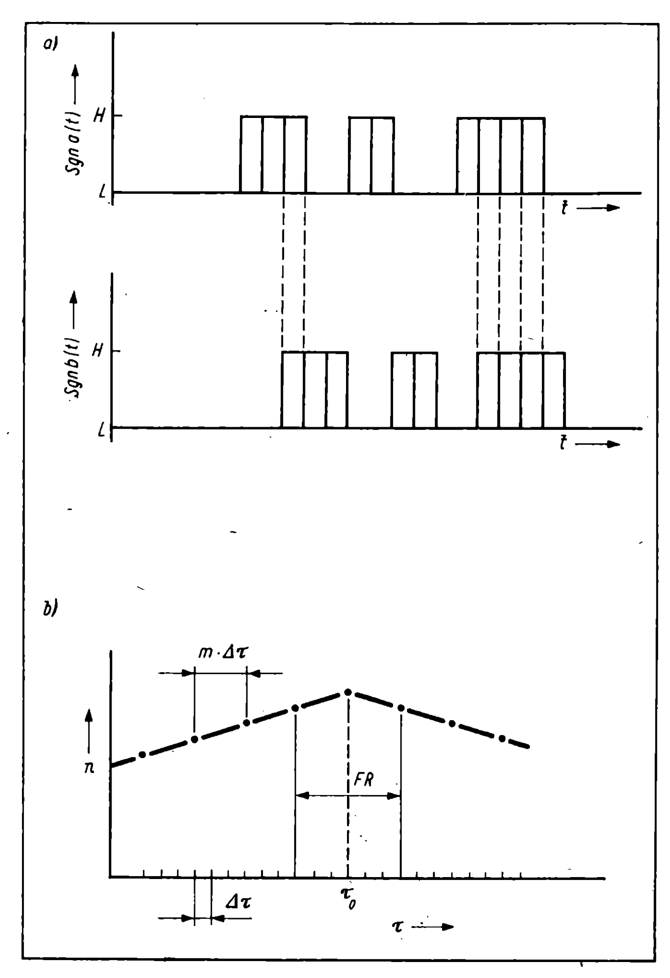


Bild 2. Schema der Berechnung der Polaritätskorrelationsfunktion (a) und der Suche ihres Maximums (b)

Er kann damit auch als Maß zur Beurteilung verschiedener Aufnehmer bzw. ihrer Parameter genutzt werden. Die Berechnung der Kreuzkorrelationsfunktion kann auf einem Digitalrechner oder mit einem speziellen Korrelator [13] und [14] erfolgen. Für die Bestimmung der Laufzeit läßt sich die Berechnung wesentlich vereinfachen, wenn man nur die sogenannte „Polaritätskorrelationsfunktion" berechnet, d. h., man bildet vor dem Korrelieren aus den Signalen $a(t)$ und $b(t)$ sgn a und sgn b in bezug auf ihre Mittelwerte. Das ist zulässig, weil für Signale mit Gaußscher Amplitudenverteilung gilt:

$$R_{\text{sgn a}\cdot\text{sgn b}}(\tau) = \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{R_{ab}(\tau)}{R_{aa}(\tau)\cdot R_{bb}(\tau)}\,, \tag{7}$$

d. h., die „Polaritätskorrelationsfunktion" ist gegenüber der vollständigen Korrelationsfunktion nur um die arcsin-Funktion verschoben, die Nullstellen und Extremwerte werden jedoch richtig wiedergegeben [12]. Zur Berechnung der Polaritätskorrelationsfunktion bzw. zur Suche des Maximums werden entsprechend Bild 2 in der vorgegebenen Meßzeit T_M die binären Signale sgn a und sgn b in $\Delta\tau$-Schritte eingeteilt und die Anzahl der Übereinstimmungen der L- oder H-Signale als Wert der Polaritätskorrelationsfunktion festgehalten. Danach wird das Signal sgn b in Schritten $\Delta\tau$ verzögert, und wiederum wird die Anzahl der Übereinstimmungen festgehalten und damit die Polaritätskorrelationsfunktion punktweise berechnet.
Für die Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit interessiert jedoch nur die zum Maximum der Polaritätskorrelationsfunktion gehörende Verzögerung τ_0, die der Laufzeit entspricht. Um diese explizit als Meßwert zu gewinnen, wird die im Bild 3 dargestellte Prinzipschaltung [18] verwendet.
Die bereits in binärer Form vorliegenden Signale werden laufend in die Meßwertspeicher eingeschrieben, wodurch die „Vorgeschichte" erhalten bleibt. In vorgegebenen Intervallen werden die aktuellen Werte in die Rechenspeicher umgeschrieben und nach der obengenannten Methode auf Äquivalenz geprüft und die Anzahl der Äquivalenzen im nachfolgenden Zähler gezählt und im n-Speicher festgehalten. Danach wird ein Speicherinhalt um einen $\Delta\tau$-Schritt verschoben, und die Zahl der äquivalenten Meßwerte wird erneut gezählt. Anschließend vergleicht ein Komparator den Zählerstand mit der Anzahl der Übereinstimmungen, die im n-Speicher stehen. Ist der neue Wert größer, dann wird dieser in den n-Speicher, und die Anzahl der $\Delta\tau$-Schritte wird aus dem Schrittzähler in den τ-Speicher eingeschrieben. Die Laufzeit, die zur Anzeige bzw. zur Weiterverarbeitung gebracht wird, ergibt sich dann zu

$$\tau_0 = n\cdot\Delta\tau\,. \tag{8}$$

Im vorgegebenen Intervall wird dann die Rechnung wiederholt. Zur Verringerung der Rechenzeit wird die Rechnung zuerst mit relativ großen Schritten $m\cdot\Delta\tau$ über der gesamten Meßzeit durchgeführt und anschließend wird in der Umgebung des grob bestimmten Maximums in Schritten $\Delta\tau$ eine Feinrechnung vorgenommen.

2. Gerätetechnische Realisierung

2.1. *Festverdrahteter Korrelator*

Der Polaritätskorrelator besteht aus zwei Hauptteilen, einer Meßwertaufbereitungseinheit aus je zwei Verstärkern, Hoch- und Tiefpässen und Komparatoren sowie einem festverdrahteten Digitalrechner, dem eigentlichen Korrelator.
Die Verstärker sind Spannungsverstärker und haben die Aufgabe, die Signale des Aufnehmers auf einen 10-V-Pegel zu brin-

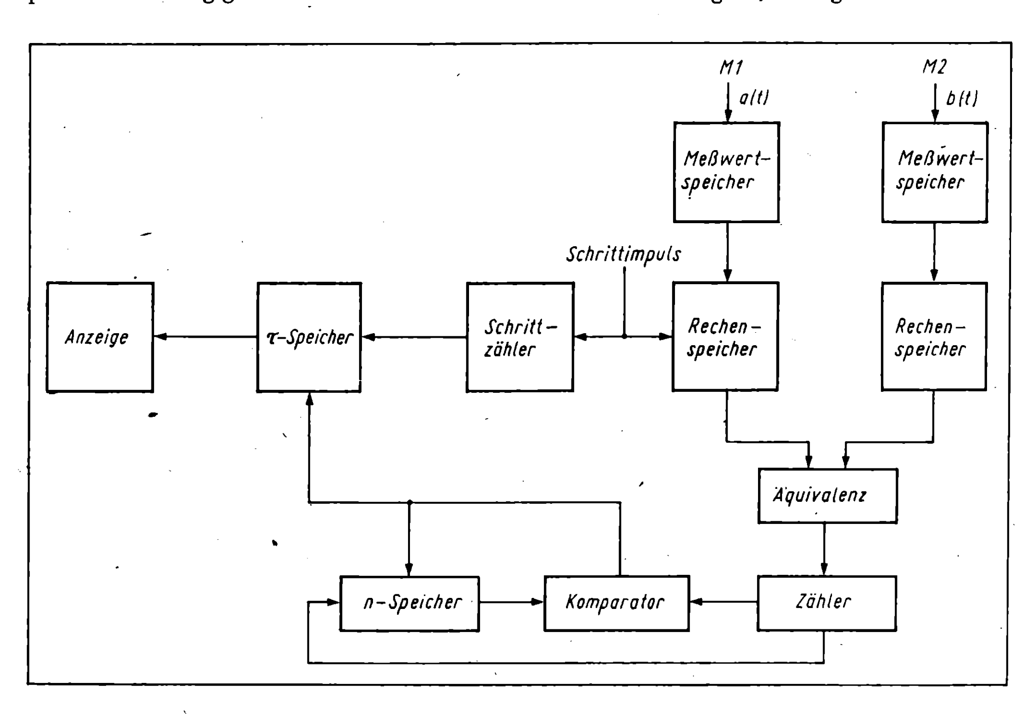


Bild 3. Prinzipschaltung des Polaritätskorrelators

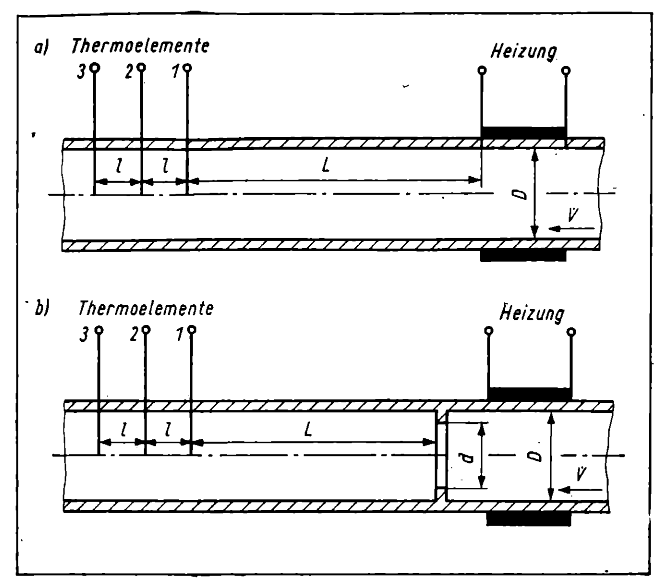


Bild 4. Volumenstrommeßstrecken mit thermischen Aufnehmern bei der Einphasenströmung

a) ohne Blende; b) mit Blende

gen. Mit den Hoch- und Tiefpässen läßt sich die Bandbreite des Signals so einstellen, daß, dem Einsatzfall angepaßt, der maximale Korrelationskoeffizient erreicht werden kann. Netzstörungen werden zusätzlich mit 50-Hz-Sperrfiltern unterdrückt. Die auf den Mittelwert abgleichbaren Komparatoren erzeugen das zur Weiterverarbeitung benötigte Binärsignal. Der eigentliche Korrelator besteht aus einem Taktgenerator (1 MHz), der die Zeitbasis darstellt und über Zähler und Logikbausteine die Steuerbefehle auslöst. Die Maximumsuche wird von Zählern, Speichern und einem digitalen Komparator entsprechend Bild 3 durchgeführt.
Die Meßzeit beträgt 10 s, die Größe der Zeitschritte zur Verzögerung ist zwischen $\Delta\tau = 0{,}01$ s und $\Delta\tau = 0{,}05$ s wählbar, und die Zahl der Zeitschritte beträgt maximal $n = 400$.

2.2. *Mikrorechnerkorrelator*

Der Mikrorechnerkorrelator besteht aus der bereits beschriebenen Meßwertaufbereitungseinheit und einem im ZfK Rossendorf entwickelten und hergestellten Mikrorechner MPS 4944 als eigentlichem Korrelator. Dieser besteht aus RAM-Speicher (4 Kbyte), PROM-Speicher (1 Kbyte), Rechnereinheit (CPU), Bus-Anzeige und einer Fernschreiberansteuerung. Die Ausgabe der Laufzeiten erfolgt über eine dreistellige Ziffernanzeige und über Fernschreiber.
Der Algorithmus ist der bereits beschriebene, ebenso werden zur Verkürzung der Rechenzeit eine Grob- und eine Feinrechnung durchgeführt. Die Laufzeit errechnet sich dann zu

$$\tau_0 = (m \cdot n_1 + n_2) \cdot \Delta\tau\,. \qquad (9)$$

n_1 Anzahl der Grobzeitintervalle
n_2 Anzahl der Feinzeitintervalle
$m = 10$

Die maximale Meßzeit beträgt 332 s.
Durch Eingabe entsprechender Konstanten ist es möglich, auch die mittlere Strömungsgeschwindigkeit und den Volumenstrom zu berechnen. Des weiteren kann auch der Korrelationskoeffizient ausgerechnet und ausgedruckt werden.
Der Mikrorechnerkorrelator ist durch die variierbare Meßzeit und die leichte Berechnung des Korrelationskoeffizienten vorzugsweise für Entwicklungsaufgaben einsetzbar, da damit die günstigsten Parameter der Aufnehmer und die optimale Bandbreite der Signale schneller ermittelt werden können.

3. Beispiele für Volumen- und Massenstrommessungen

3.1. *Volumenstrommessung einer Flüssigkeit mit einem thermischen Aufnehmer*

3.1.1. Aufbau des Aufnehmers

Die Messung der Strömungsgeschwindigkeit mit Hilfe von Temperatursignalen wird in der Kerntechnik schon seit längerer Zeit durchgeführt [19] bis [22]. Es wurde deshalb untersucht, inwieweit sich diese Methode auch zur Volumenstrommessung nutzen läßt.
Voruntersuchungen zeigten, daß die Nutzung von natürlichen Temperaturfluktuationen weder bei Raumtemperatur noch bei erhöhten Medientemperaturen befriedigende Ergebnisse bringt. Es wurde deshalb eine Meßstrecke mit zusätzlicher elektrischer Heizung (Bild 4a) untersucht. Die Schwierigkeit der Bestimmung der mittleren Fluidgeschwindigkeit bleibt aber auch hier bestehen.
Die Meßwerte streuen stark. Zur Beseitigung dieser Schwierigkeit wurde entsprechend Bild 4b zwischen Heizung und eigentlicher Meßstrecke eine Blende eingebaut, die die Aufgabe hat, die Turbulenz zu erhöhen und das Geschwindigkeitsprofil im Bereich der Meßstrecke zu homogenisieren. Dieses Ziel wurde erreicht.

3.1.2. Ergebnisse der experimentellen Untersuchung

Versuche mit Blende und Wasser als Strömungsmedium wurden mit $D = 10$ mm und jeweils mit den Thermoelementkombinationen (s. Bild 4) 1–2 (15 mm Abstand), 2–3 (15 mm Abstand) und 1–3 (30 mm Abstand) durchgeführt. Zusätzlich wurden noch die Parameter Blendenöffnungsverhältnis ($m = d^2/D^2 = 0{,}1$; 0,4; 0,8) sowie die Heizleistung ($P = 50$, 100, 150 W) und die Meßzeit (15 s und 90 s) variiert. Die Auswertung der Signale erfolgte im Bereich von 0,3–10 Hz.
Im Bild 5 sind die Ergebnisse für eine Meßzeit von 15 s und eine Heizleistung von 50 W dargestellt. Größere Meßzeiten und Heizleistungen brachten keine signifikant besseren Ergebnisse. Es zeigte sich, daß die Meßpunkte bei 30 mm Thermoelementabstand nach wie vor streuten. Die Blendenöffnungsverhältnisse 0,4 und 0,8 sind etwa gleichwertig. Beim Öffnungsverhältnis 0,1 ist dagegen bereits wieder eine deutlich größere Streuung festzustellen.
Der Einfluß der einzelnen Parameter ist deutlicher aus dem Verlauf des Korrelationskoeffizienten erkennbar.
Eine Meßzeit von 90 s bringt z. B. nur noch eine relativ geringe Zunahme des Korrelationskoeffizienten (Bild 6). Es kann eingeschätzt werden, daß bei einer Meßzeit von 15 s, einer Heizleistung von 50 W, einem Blendenöffnungsverhältnis von $m = 0{,}8$ sowie einem Thermoelementeabstand von 15 mm optimale Ergebnisse zu erreichen sind.

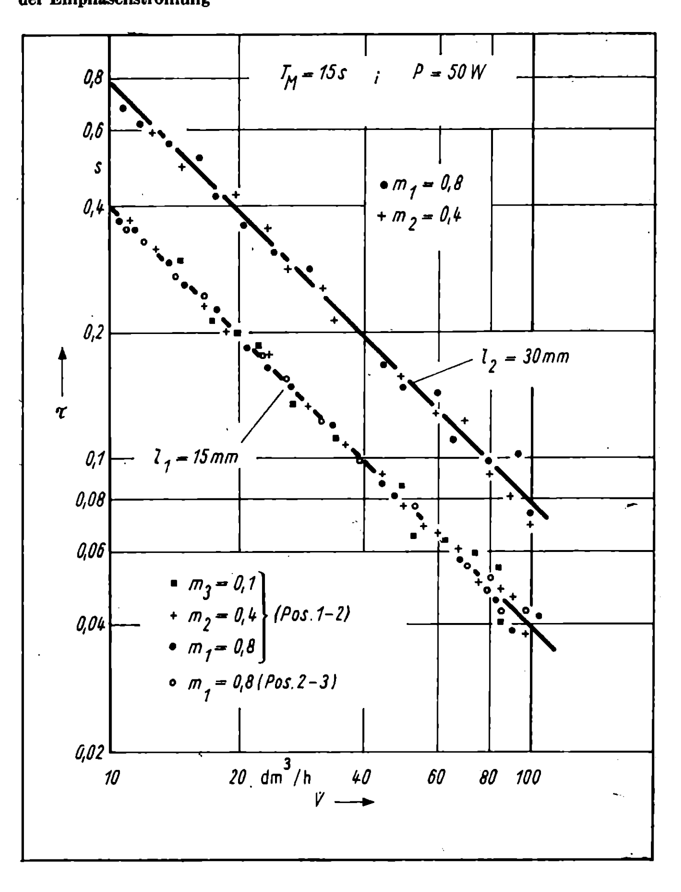
3.2. *Massenstrommessung eines Gas-Feststoff-Gemisches mit hoher Feststoffbeladung in einem Förderrohr*

3.2.1. Wesen der Massenstrommessung

Der Massenstrom wird aus den Meßgrößen $\bar{c}$ und ϱ_s^* über (10) zu

$$\dot{m} = A \cdot \varrho_s^* \cdot \bar{c} \qquad (10)$$

Bild 5. Ergebnisse der Volumenstrommessung mit thermischen Aufnehmern bei der Einphasenströmung



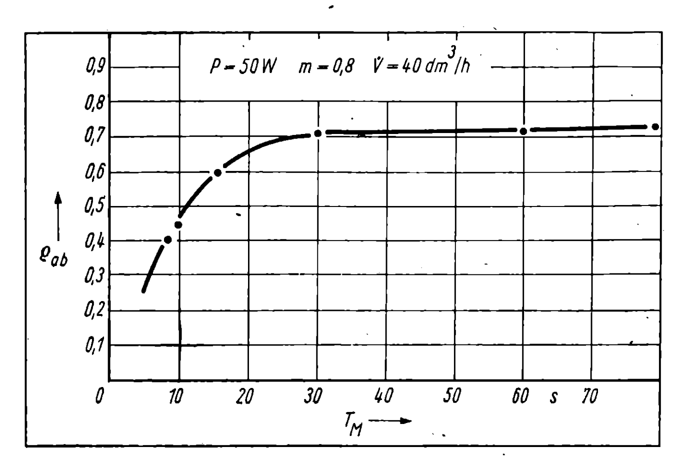


Bild 6. Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten von der Meßzeit bei der Volumenstrommessung mit thermischen Aufnehmern

ermittelt. Die für die Bestimmung des Massenstromes benötigte Kornverteilungsdichte ϱ_s^* wird mit Hilfe radiometrischer Meßverfahren über einen Mikrorechner K 1520 bestimmt. Je nach Förderrohrdurchmesser kommen Gamma- oder Betasonden zum Einsatz. Die Geschwindigkeit $\bar{c}$ wird bestimmt durch Auswertung

a) stochastisch verteilter, natürlicher Signalschwankungen
b) der der Strömung zusätzlich aufgezwungenen Marken zur Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses.

Das Korrelationsverfahren ist für beide Anwendungsfälle verwendbar. Da bei der Fließförderung die auswertbaren Signalanteile im niederfrequenten Bereich (0,3—10 Hz) liegen und die Förderung sehr stabil und stetig verläuft, ist nur eine geringe Information je Zeiteinheit zu erwarten. Bei Auswertung stochastisch verteilter Signale werden demzufolge große Meßzeiten erforderlich, wenn die Geschwindigkeit statistisch gesichert bestimmt werden soll. Die Meßzeiten liegen zwischen 0,5 und 3 min. Da diese Meßzeiten als Betriebsmessung für eine Dosierung zu groß sind, wurde vorrangig die Methode der Markierungen verwendet.
Sowohl für das Korrelationsmeßverfahren als auch für die Fließförderung ist das Einbringen von kleinen und dafür häufigeren Marken (etwa 4 Marken in 10 s) günstiger. Um Fehlmessungen durch Auftreten mehrerer Kreuzkorrelationsmaxima bei periodischer Signalfolge zu vermeiden, erfolgt die Impulsgabe pseudostochastisch.

3.2.2. Massenstrommessung mit radiometrischen Sonden

3.2.2.1. Meßanordnung

Je nach Durchstrahlungsweg werden Beta- oder Gammastrahler eingesetzt. Als Nuklide wurden der Betastrahler $^{90}Sr/^{90}Y$ bzw. der Gammastrahler ^{241}Am verwendet. Die Meßanordnung für radiometrische Sonden ist im Bild 7 dargestellt.
Entlang eines Förderrohres sind zwei radiometrische Sonden in einem Abstand von mehreren Metern angeordnet. Jede Sonde besteht aus einer Strahlenquelle und einer Szintillationssonde als Empfänger. Die Szintillationssonde ist mit einem Strahlungsmeßgerät 20046 verbunden. Die erste Sonde liefert am Impulsdichtemesserausgang eine analoge Signalfunktion $a(t)$ und die zweite Sonde eine zu $a(t)$ zeitlich verschobene Funktion $b(t)$. Da der radioaktive Zerfall einen statistischen Prozeß darstellt, ist dem eigentlichen niederfrequenten Meßsignal ein höherfrequentes, statistisches Rauschen überlagert. Um ein besseres Signal/Rausch-Verhältnis zu erhalten, wird das analoge Impulsdichtesignal über ein Bandpaßfilter (0,3—10 Hz) an den Korrelator gegeben. Die Komparatorschwelle des Korrelators wurde so gewählt, daß die noch verbleibenden statistischen Schwankungen des radioaktiven Zerfalls kaum noch Polaritätssignale am Korrelator erzeugen.

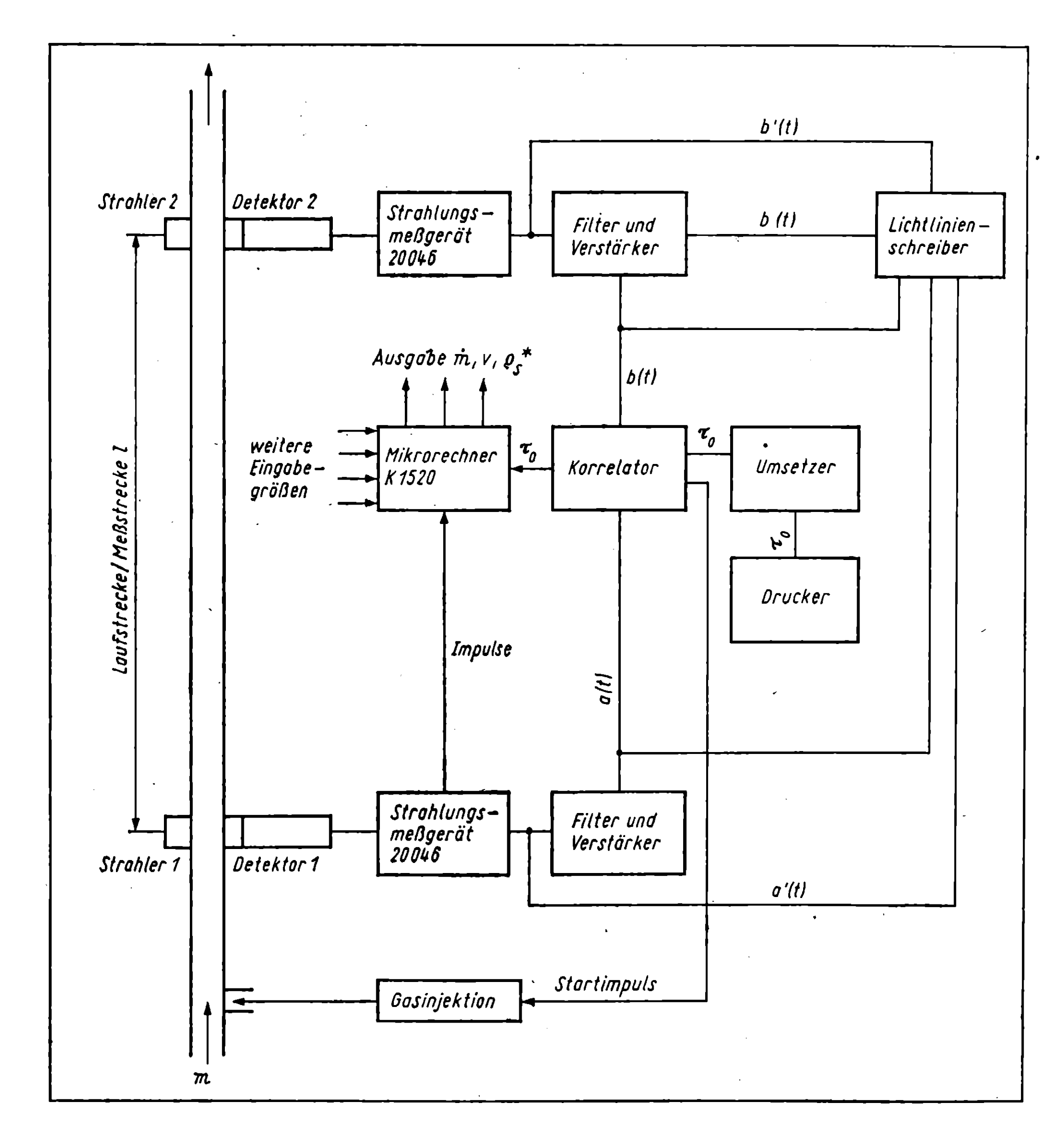


Bild 7. Meßanordnung zur Bestimmung des Massenstromes von Gas-Feststoff-Strömungen

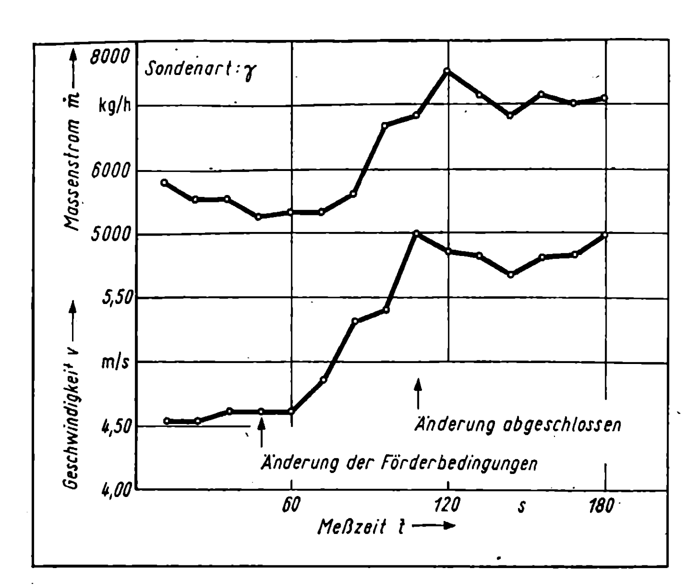


Bild 8. Zeitlicher Verlauf der kontinuierlichen Geschwindigkeits- und Massenstrommeßwerte bei Gas-Feststoff-Strömungen

3.2.2.2. Erprobungsergebnisse mit radiometrischen Sonden

Allgemein kann eingeschätzt werden, daß sowohl die Gamma- als auch die Betasonden gut auswertbare Signale für Korrelationsmessungen liefern. Es wurden Versuche mit dem mikrorechnergesteuerten Korrelator und dem festverdrahteten Korrelator, der speziell für diese Aufgabe entwickelt wurde, durchgeführt. Es wurden einmal die Signalfunktionen $a(t)$, $b(t)$ gleicher Sondenart und ein anderes Mal die Signalfunktion von zwei unterschiedlichen Sondenarten gleichzeitig über Korrelation ausgewertet.
Der Korrelationskoeffizient liegt für Gamma- und Beta-Sonden bei 0,96 – 0,99, mit Standardabweichungen von etwa 1% (Beta-Messung) bzw. 2,5% (Gamma-Messung). Der hohe Korrelationskoeffizient besagt, daß sich die Signale sehr gut auf der Meßstrecke erhalten, also eine große Ähnlichkeit der Signalfunktionen vorliegt. Die kleinen Standardabweichungen sind ein Maß für die Konstanz der Qualität der Impulsgabe. Die Mittelwerte der gemessenen Geschwindigkeiten zeigen im Vergleich mit einem radioaktiven Markierungsverfahren folgende Abweichungen:

Gamma – Gamma	–0,3%
Beta – Beta	–0,7%
Gamma – Beta	+1,3%.

Es werden also im Mittel gleiche Geschwindigkeiten mit zwei unabhängigen Meßverfahren bestimmt. Die Standardabweichungen der beiden Meßmethoden stimmen auch annähernd überein, d. h. die beiden Verfahren haben die gleiche statistische Sicherheit, wobei ein Großteil der Schwankungsbreite der Geschwindigkeit prozeßbedingt ist. Für eine Betriebsmessung wurde ein festverdrahteter Korrelator entwickelt, der alle 4 s eine Laufzeit ausgibt.

Bei einer Veränderung der Geschwindigkeit während eines Versuches gab es am Korrelator keine Fehlmessung. Eine solche dynamische Erhöhung der Geschwindigkeit ist im Bild 8 dargestellt. Vergleichende Messungen mit anderen Meßverfahren lieferten gleichwertige Ergebnisse.

3.2.3. Massenstrommessung mit thermischen Aufnehmern

3.2.3.1. Meßanordnung und Aufbau der thermischen Sonden

Die Meßanordnung mit thermischen Sonden entspricht etwa der Meßanordnung des Bildes 7. An die Stelle der Strahlungsmeßgeräte tritt ein Verstärker für die Thermospannung. Außerdem wird das durch den Impulsgeber injizierte Gas vorgewärmt, was aber nicht zwingend notwendig ist. Die Thermoelemente sind so an der Förderleitung angebracht, daß sie etwa 5 mm in den Strömungsquerschnitt hineinragen. Es wurden direkte Mantelthermoelemente mit einem Durchmesser von 1 mm verwendet. Der Abstand der Thermoelemente im Förderrohr wurde wie bei den radiometrischen Sonden gewählt. So waren vergleichbare Messungen mit beiden Verfahren möglich.

3.2.3.2. Erprobungsergebnisse der Thermoelementsonden

Es wurde im Vergleich zu anderen Sonden eine um 10% zu kleine Geschwindigkeit gemessen. Die Ursache ist ein Schallimpuls, der bei der Impulsgabe ausgelöst wird (Bild 9). Sitzt die erste Thermoelementsonde zu nah am Impulsgeber, so verschmelzen Schall- und echter Temperaturimpuls. An der zweiten Sonde sind sie jedoch schon getrennt. Damit wurde es erforderlich, eine Impulseinlaufstrecke von etwa 5 m zu gewährleisten. Mit der neuen Meßanordnung konnte diese systematische Abweichung eliminiert werden, d. h., es werden mit Thermoelementen die gleichen Geschwindigkeiten gemessen wie z. B. mit Gammasonden.
Da die Thermoelemente einen großen Meßeffekt brachten, konnte der Gasimpuls gegenüber dem für radiometrische Sonden wesentlich verringert werden, so daß nicht mehr wahrnehmbare Dichteunterschiede auftraten. Dadurch konnte die Impulsgabefrequenz erhöht werden, die die Förderstetigkeit noch begünstigt. Auch allein mit natürlichen, stochastischen Fluktuationen waren Messungen erfolgreich. Diese Tatsache ist ein wesentlicher Vorteil der Thermoelemente gegenüber den radiometrischen Sonden.
Weitere Vorteile der Thermoelemente sind:
- Die Meßsignale sind frei von statistischen Schwankungen
- Durch Erhöhung der Impulsgabefrequenz werden kürzere Meßzeiten erreicht
- Thermoelementaufnehmer sind wesentlich billiger und technisch einfacher als radiometrische Sonden.

Eine Vergrößerung des Sondenabstandes der Thermoelemente brachte eine geringe Zunahme der absoluten Schwankungsbreite der Geschwindigkeit. Die relative Schwankungsbreite dagegen konnte beträchtlich gesenkt werden. Durch die sich im Förderrohr gut erhaltenden Marken sind Meßstrecken von 10 m und mehr möglich. Diese großen Meßstrecken können ebenfalls mit Gamma- und Betasonden realisiert werden.

Zusammenfassung

Es wurden ein Laufzeitkorrelationsverfahren zur Messung von Strömungsgeschwindigkeiten und Volumenströmen und seine

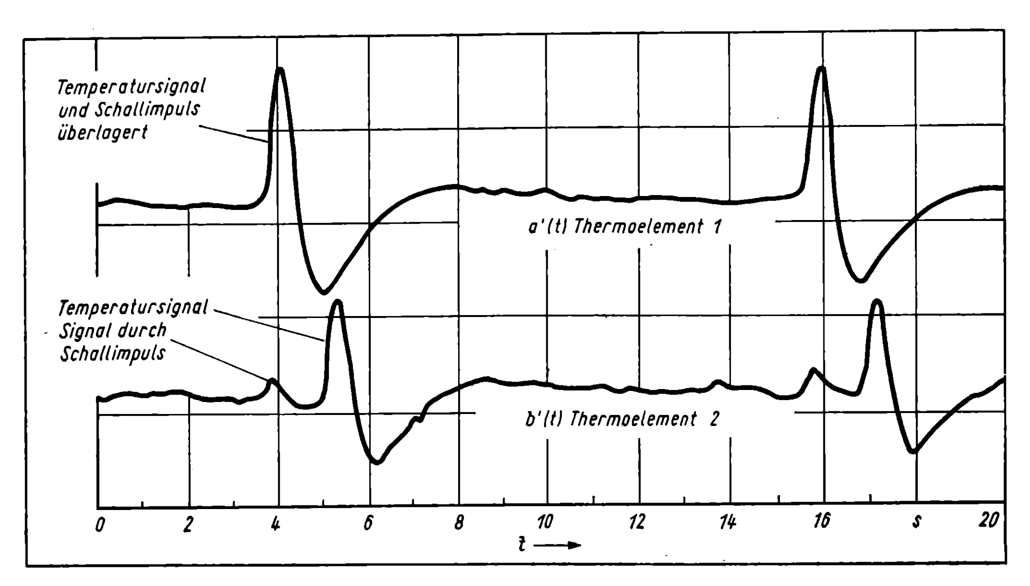


Bild 9. Signalfunktion von thermischen Aufnehmern in Gas-Feststoff-Strömungen

Realisierung vorgestellt. Die angeführten Beispiele zeigen die Leistungsfähigkeit für stochastische und pseudostochastische Signale.
Es bestätigte sich, daß gute Meßergebnisse nur in Verbindung mit der Entwicklung geeigneter Aufnehmer zu erreichen sind. Als Hauptanwendungsgebiete sind Zwei- und Mehrphasenströmungen anzusehen.

Verwendete Symbole und Formelzeichen

A	Rohrquerschnitt
$a(t)$	Signalfunktion der Sonde 1
$b(t)$	Signalfunktion der Sonde 2
c	Geschwindigkeit des strömenden Mediums
l	Meßstrecke
m	Blendenöffnungsverhältnis
$\dot{m}$	Massenstrom
n	Anzahl der Zeitschritte
$\dot{P}$	Heizleistung
R	Korrelationsfunktion
T	Abtastzeit
T_M	Meßzeit
$\dot{V}$	Volumenstrom
ϱ	Korrelationskoeffizient
ϱ_S	Dichte des strömenden Mediums
ϱ_S^*	Kornverteilungsdichte der Gas-Feststoff-Strömung (Feststoffmasse in der Volumeneinheit)
τ	Zeitparameter
τ_0	Laufzeit zwischen den Sonden
$\Delta\tau$	Zeitschritt

Literatur

[1] *Kronmüller, H.:* Durchflußmessung mittels Markierungsverfahren. VDI-Bericht Nr. 375 (1980) S. 47–66.
[2] *Calame, H.:* Impfverfahren mit Chemikalien und radioaktiven Substanzen, thermische und kalorische Meßmethoden. VDI-Bericht Nr. 86 (1964) S. 58 bis 63.
[3] *Golushko, V. V.*, u. a.: Polarkorrelometer auf der Grundlage eines Tastaturrechners mit Mikroprogrammsteuerung für Durchflußmengenmessungen von Flüssigkeiten. NIIAR P-31 (325) Dimitrovgrad 1977.
[4] *Mesch, F.*, u. a.: Geschwindigkeitsmessung mit Korrelationsverfahren T. 1. Meßtechnik 79 (1971) 7, S. 152–157.
[5] *Mesch, F.; Kipphan, H.:* Solids Flow Measurement by Correlation Methods. Opto-electronics 4 (1972) pp. 451–462.
[6] *Mesch, F.*, u. a.: Transit Time Correlation-A Survey on its Applications to Measuring Transport Phenomena. Measurement and Control 96 (1974) 4, pp. 414–420.
[7] *Kipphan, H.:* Bestimmung von Transportkenngrößen bei Mehrphasenströmungen mit Hilfe der Korrelationsmeßtechnik. Chem.-Ing.-Technik 49 (1977) 9, S. 659–707.
[8] *Kipphan, H.; Mesch, F.:* Flow Measurement Systems Using Transit Time Correlation. In: *Dijstelbergen, H.; Spencer, E. A.:* Flow Measurement of Fluids. Amsterdam: North-Holland Publishing Co. 1978.
[9] *Beck, M. S.:* Crosscorrelation in Instruments-Correlation Flowmeters. Journ. of Phys. E 13 (1980).
[10] *Mesch, F.:* Geschwindigkeits- und Durchflußmessung mit Korrelationsverfahren. Regelungstechn. Praxis 24 (1982) 3, S. 73–82.
[11] *Lundberg, K.:* Flowmetering's future? Correlation meters for pulp fibre streams. Contr. and Instr. Apr. (1979) pp. 34 and 35.
[12] *Veltmann, B. P. Th.*, u. a.: Theorie und Technik der Polaritätskorrelation für die dynamische Analyse niederfrequenter Signale und Systeme. Regelungstechnik 9 (1961) S. 357–364.
[13] *Ball, G. A.:* Korrelationsmeßgeräte. Berlin: VEB Verlag Technik 1972.
[14] *Lange, F.-H.:* Signale und Systeme, Bd. 3. Berlin: VEB Verlag Technik 1973.
[15] *Massen, R.:* Berührungslose Geschwindigkeitsmessung durch Korrelation. Nachrichtentechn. Ztschr. 34 (1981) 5, S. 300–304.
[16] *Massen, R.:* Störsichere Prozeßgrößenerfassung mit einem neuen digitalen Korrelator. Regelungstechn. Praxis 23 (1981) 10, S. 355–359.
[17] *Massen, R.:* Non contact velocity measurement with a new microprocessor based industrial correlator. Vortrag IMEKO IX, Westberlin 1982.
[18] *Kath, U.; Witke, W.:* Strömungsgeschwindigkeitsmessung mit einem Polaritätskorrelator. ZfK-422, S. 149–151.
[19] *Bentley, P. G.; Dawson, D. G.:* Fluid Flow Measurement by Transit Time Analysis of Temperatur Fluctuations. Trans. of the Society of Instrument. Technology 18 (1966) p. 183.
[20] *Mika, C.:* Messung der Strömungsgeschwindigkeit in beheizten Kühlkanälen aus der Korrelation fluktuierender Temperatursignale. Dissertation, TU Hannover 1975.
[21] *Wesser, U.*, u. a.: Geschwindigkeitsmessungen im einphasigen Fluid (stationär und transient) durch Analyse der natürlichen Temperaturschwankungen. TUBIK-41, Westberlin 1975.
[22] *Wesser, U.; Lickteig, K.:* Stationäre und transiente Geschwindigkeitsmessung durch Korrelationsanalyse von natürlichen Temperaturschwankungen eines Fluids. msr, Berlin 19 (1976) 11, S. 376–380.
[23] WP G06F/241067/0: Verfahren zur Steuerung eines Polaritätskorrelators für Laufzeitmessungen. Ausgabe 1982.

msr 7915

A. Negrusz; M. Teisseyre[1])

Zur Probeentnahme und Abscheidung der festen Phase bei Staubmessungen[2])

0. Einleitung

Bei Staubkonzentrationsmessungen in Abgasen ist eine geschwindigkeitsgleiche Absaugung der Probe des Gas-Staub-Gemisches die anerkannte Bedingung für korrekte Meßergebnisse. Um diese Bedingung zu erfüllen, ist eine komplizierte und aufwendige Meß- und Regelschaltung in Staubmeßgeräten notwendig.
Es entsteht die Frage, ob man mit konstanter, optimaler Absauggeschwindigkeit, also nichtgeschwindigkeitsgleich, arbeiten könnte. Bei geeigneter Wahl dieser Geschwindigkeit kann man erreichen, daß bei Schwankungen der Geschwindigkeit von Abgasen die Meßfehler sich aufheben. Bekanntlich entstehen bei zu großer Absauggeschwindigkeit negative Fehler, und bei zu kleiner Absauggeschwindigkeit wird der Staubgehalt zu groß gemessen.
Bei direkter Messung der Staubemission aus Abgaskanälen wird ein Teilstrom aus dem untersuchten Gasstrom entnommen. Der Massenstrom des Staubes in der Entnahmesonde soll dabei einen bestimmten, konstanten Teil der Gesamtemission bilden. Dazu ist auch eine geschwindigkeitsgleiche Absaugung der Probe erforderlich. Bekannte Meßmethoden beruhen z. B. auf der Benutzung der sogenannten Nulldrucksonde, die jedoch ungenau ist und Meßfehler verursacht. Eine Weiterentwicklung der Entnahmesonden ist daher dringend erforderlich.

Bei gravimetrischen Staubmeßgeräten soll der Staub aus der entnommenen Gasprobe abgeschieden und gewogen bzw. untersucht werden. Zur Staubabscheidung werden Filter aus verschiedenen Stoffen verwendet. Die Staubabscheidung durch Filtrieren ist besonders umständlich bei Proben von Kohlenstaub aus Leitungen pneumatischer Förderanlagen. Die Meßzyklone haben einen viel zu niedrigen Wirkungsgrad, um fehlerfreie Messungen zu ermöglichen. Eine weitere Verbesserung des Wirkungsgrades von Meßzyklonen erscheint aus diesem Grunde unerläßlich.
Im folgenden soll auf die genannten Fragen eingegangen werden.

1. Probeentnahme bei Konzentrationsmessungen

Um die geschwindigkeitsgleiche Absaugung der Probe bei Filter-Staubmeßgeräten zu verwirklichen, wird eine Gasdurchflußregelung angewendet. Der Momentanwert der Geschwindigkeit im Abgaskanal dient dabei als die Führungsgröße eines Folgereglers. Bei Schwankungen der Abgasgeschwindigkeit treten auch Geschwindigkeitsschwankungen in den Leitungen des Staubmeßgerätes auf, was nachteilig sein kann.
Die folgenden Betrachtungen gelten für eine feststehende Entnahmesonde und eine unveränderliche Staubkonzentration S. Bei Staubkonzentrationsschwankungen gibt das Meßgerät den mittleren Wert an, wenn die Absaugdauer genügend lang ist.
Bei nichtgeschwindigkeitsgleicher Absaugung mit konstanter Geschwindigkeit w_S entsteht ein relativer Meßfehler δ.
Die Fehlerberechnung läßt sich durchführen, wenn der zeitliche Verlauf der Geschwindigkeit w_K im Abgaskanal während der Absaugdauer T bekannt ist.
Die gemessene mittlere Staubkonzentration S_{mg} folgt aus

$$S_{mg} = S \cdot \bar{a}_\chi \,, \tag{1}$$

worin $\bar{a}_\chi$ der mittlere Wert des Korrekturkoeffizienten a_χ ist:

$$\bar{a}_\chi = \frac{1}{T} \int_0^T a_\chi \, dt \,. \tag{2}$$

---

[1]) Prof. Dr.-Ing. *Adam Negrusz* (62) studierte von 1939 bis 1944 an der Fakultät Maschinenwesen der Technischen Hochschule Lwów. 1945 bis 1946 Tätigkeit als Konstrukteur in der Maschinenfabrik „Huta Zgoda" in Świętochłowice/VR Polen und von 1946 bis 1957 im Zentralen Konstruktionsbüro der Maschinenindustrie in Bytom/VR Polen. Seit 1947 wissenschaftliche Tätigkeit an der TH Wrocław/VR Polen. 1955 Promotion auf dem Fachgebiet Verbrennungsmotoren. Seit 1959 Dozent, seit 1971 außerordentlicher Professor an der TH Wrocław.

Doz. Dr.-Ing. *Mieczysław Teisseyre* (58) studierte von 1945 bis 1950 an der Fakultät Maschinenwesen der TH Wrocław/VR Polen. Seit 1948 Assistententätigkeit. 1963 Promotion auf dem Fachgebiet Durchflußmessung. Seit 1968 Dozent an der TH Wrocław.

[2]) Nach einem Vortrag zum 3. Kolloquium „Meßtechnik für thermische Energieanlagen" der TU Dresden (13. und 14. April 1983).

a_χ ist ein vom Momentanwert des Geschwindigkeitsverhältnisses $\chi = \frac{w_S}{w_K}$ und der Barthschen Zahl Ba abhängiger Korrekturkoeffizient.
Der relative Meßfehler δ ergibt sich zu:

$$\delta = \bar{a}_\chi - 1 . \quad (3)$$

Es läßt sich immer ein optimaler Wert der Absauggeschwindigkeit finden, für den der Meßfehler für eine bestimmte Barthsche Zahl Null wird.
Es wurde die Berechnung des Meßfehlers δ für Gaußsche Verteilung der Geschwindigkeitsschwankungen im Abgaskanal durchgeführt. Für alle Berechnungen wurde die dimensionslose Geschwindigkeit im Abgaskanal $\varkappa = \frac{w_K}{\bar{w}_K}$ verwendet. $\bar{w}_K$ ist die mittlere, auf die Zeit bezogene Geschwindigkeit der Abgase. Die Werte des Korrekturkoeffizienten a_χ wurden aus den theoretischen Kurven von *Bohnet* [1] entnommen. Bild 1 zeigt die Ergebnisse für verschiedene Werte der Barthschen Zahl Ba und der Standardabweichung σ. Als Abszisse dient das Verhältnis $\varkappa_S = \frac{w_S}{\bar{w}_K}$ (Geschwindigkeit w_S in der Entnahmesonde zur mittleren Geschwindigkeit $\bar{w}_K$ im Abgaskanal).
Aus dem Bild kann man entnehmen, daß die Kurven für einen bestimmten Wert von Ba und für verschiedene Werte der Standardabweichung praktisch den gleichen Verlauf haben. Man sieht ferner, daß mit dem Vergrößern von Ba die Neigung der Fehlerkurven zunimmt. Am interessantesten ist jedoch die Tatsache, daß unabhängig von Ba und Standardabweichung alle Kurven die Abszissenachse in der Nähe des Wertes $\varkappa_S = 1$ schneiden. Dies bedeutet, daß, wenn man einen Meßfehler im Wert von z. B. $\pm 1\%$ zuläßt, die optimale Absauggeschwindigkeit in der Sonde der mittleren Geschwindigkeit im Abgaskanal gleich sein muß. Man soll jedoch bedenken, daß diese Aussage nur für die Gaußsche Verteilung der Geschwindigkeit gilt, die bekanntlich eine um den Wert $w_K = \bar{w}_K$ symmetrische Kurve der Wahrscheinlichkeitsdichte ergibt.
Zum Vergleich wurden auch Berechnungen des Meßfehlers für von der Gaußschen Verteilung abweichende Kurven der Wahrscheinlichkeitsdichte (Standardabweichung $\sigma = 0{,}15$, Asymmetriekoeffizient $+0{,}44$ und $-0{,}44$, Exzeß $-0{,}32$) für Barthsche Zahlen 0,1 und 5 durchgeführt. Die Ergebnisse sind ähnlich wie im Bild 1.
Genauere Angaben über die Verteilung der Geschwindigkeitsschwankungen in den Abgaskanälen typischer industrieller Anlagen für die in der Praxis vorkommenden Betriebszustände sind noch unbekannt. Gründliche Untersuchungen der Verteilungsgesetze dieser Schwankungen wären notwendig. Solche Untersuchungen könnten zur Weiterentwicklung der Durchflußregelung bei Staubmeßgeräten beitragen. Es ist z. B. auch denkbar, einen Mikrorechner zur Bestimmung des optimalen Wertes der Absauggeschwindigkeit in gegebenen Zeitintervallen einzusetzen. Dieser optimale Wert könnte dann als die Führungsgröße des Durchflußreglers verwendet werden.

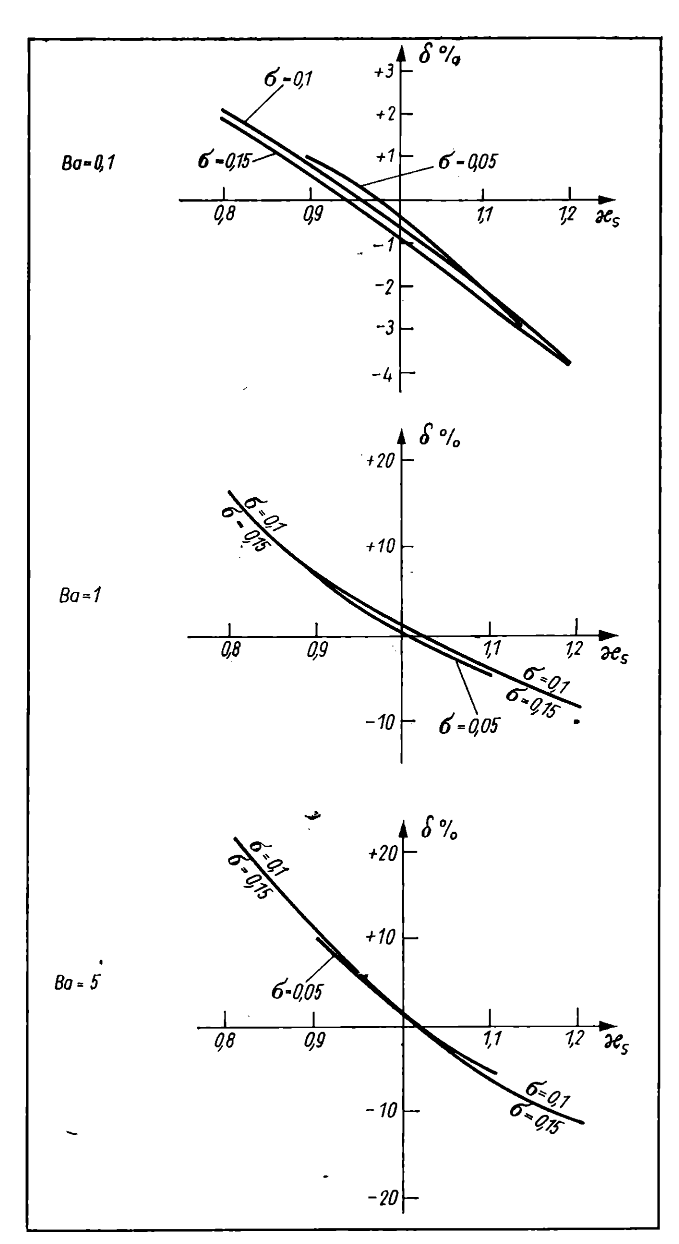


Bild 1. Meßfehler δ bei konstanter Absauggeschwindigkeit und Gaußscher Verteilung der Geschwindigkeit im Abgaskanal

2. Probeentnahme bei Emissionsmessungen

Wenn die mittlere Staubkonzentration S_m im Abgaskanal, die Querschnittsfläche A_K des Kanals und die mittlere Abgasgeschwindigkeit $\bar{w}_K$ bekannt sind, kann man die Emission $\dot{E}$ des Staubes mit der Gleichung

$$\dot{E} = S_m \cdot A_K \cdot \bar{w}_K \quad (4)$$

berechnen. Es ist auch eine unmittelbare Messung der Emission nach dem Teilstromverfahren möglich. Bei der geschwindigkeitsgleichen Absaugung der Probe mit einer Entnahmesonde mit Eintrittsfläche A_S mißt man die in der Zeit T im Teilstrom gesammelte Staubmasse m_S. Die Emission folgt dann aus

$$\dot{E} = \frac{A_K}{A_S} \cdot \frac{m_S}{T} . \quad (5)$$

In den bekannten Staubmeßgeräten für Emission, z. B. [2] und [3], wird die geschwindigkeitsgleiche Probeentnahme mit Hilfe einer Nulldrucksonde mit entsprechender Durchflußregelung verwirklicht. Diese Lösung hat den Nachteil, daß — genau genommen — die richtige Druckdifferenz in der Sonde nicht Null sein soll, sondern in gewissem Maße von der Geschwindigkeit im Kanal abhängig ist. Bei Nichtbeachtung dieser Tatsache können beträchtliche Meßfehler entstehen.
Bild 2 zeigt das Schema des neuentwickelten Staubmeßgerätes Emitest-5E mit Spezialsonde [4]. In dieser Sonde befindet sich eine kleine Venturidüse, deren Wirkdruck Δp_V vom Durchfluß, d. h. auch von der Geschwindigkeit w_S in der Sondenmündung abhängig ist. Zwei Öffnungen am Außenumfang der Sonde dienen zur Messung einer Druckdifferenz Δp_K, die mit dem dynamischen Druck p_d und der Abgasgeschwindigkeit w_K in Beziehung steht. Man kann beweisen, daß, um die geschwindigkeitsgleiche Absaugung zu sichern, das Verhältnis

$$\varphi = \frac{\Delta p_V}{\Delta p_K}$$

konstant bleiben muß. Die Konstante φ errechnet sich aus

$$\varphi = \left(\frac{\pi \cdot d_S^2}{4 C_V \sqrt{\beta}} \right)^2 .$$

d_S Eintrittsdurchmesser der Sonde
C_V Eichkonstante der Venturidüse
$\beta = \frac{\Delta p_K}{p_d}$ Beiwert der Sonde.

Die Druckdifferenzen Δp_V und Δp_K werden in kapazitiven Druckwandlern in die elektrischen Ströme I_V und I_K umgewandelt und dann einem Verhältnisregler zugeführt. Der Regler sorgt für die Konstanthaltung des Ausdruckes I_V/I_K, und auf diese Weise wird die geschwindigkeitsgleiche Absaugung gewährleistet. Das Meßergebnis wird durch Druck und Temperatur der Abgase nicht beeinflußt.

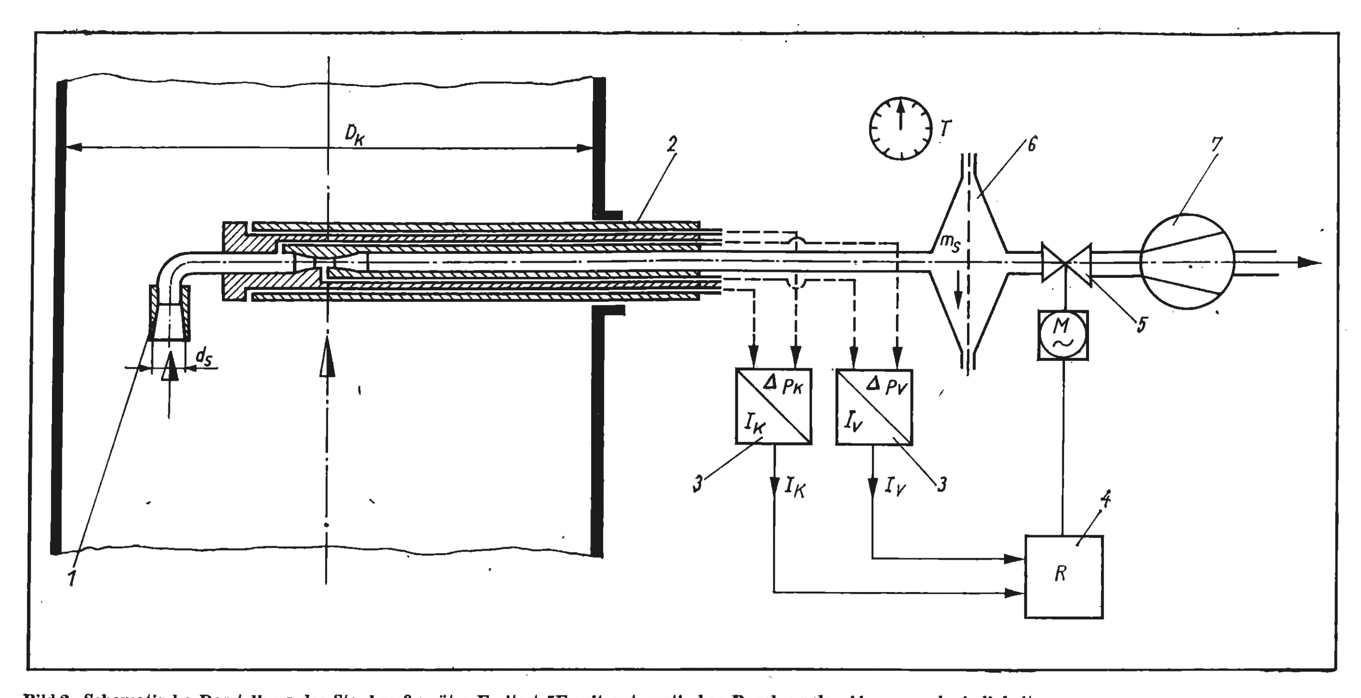


Bild 2. Schematische Darstellung des Staubmeßgerätes Emitest-5E mit automatischer Regelung der Absauggeschwindigkeit

1 auswechselbares Mundstück mit Eintrittsdurchmesser 10 mm und 14 mm; *2* Entnahmesonde mit Venturidüse; *3* kapazitiver Druckwandler; *4* Verhältnisregler; *5* Regelventil; *6* Meßfilter; *7* Saugpumpe

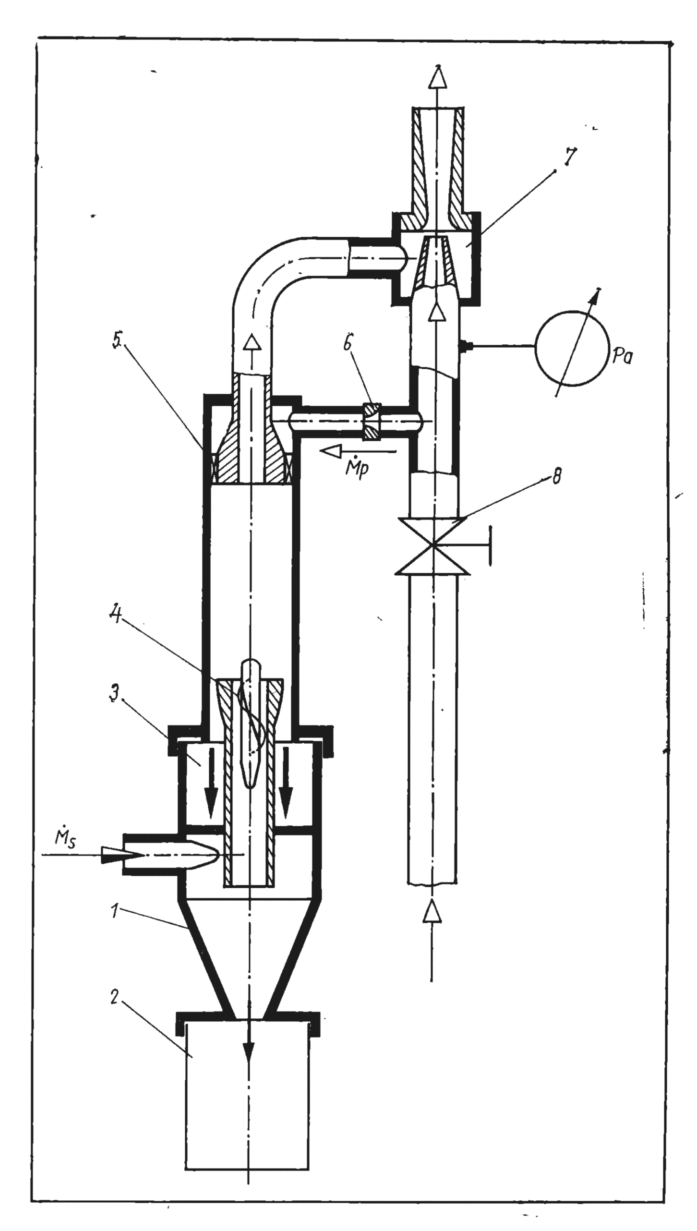


Bild 3. 2stufiger Staubabscheider für das Staubmeßgerät Emitest-5P

1 Meßzyklon; *2* Fanggefäß für grobe und mittlere Körner; *3* Fanggefäß für feine Körner; *4* Dralleinrichtung für den Hauptstrom des Gases; *5* Dralleinrichtung für den Lufthilfsstrom; *6* kalibrierte Düse; *7* Ejektor; *8* Drosselventil für Speisedruck

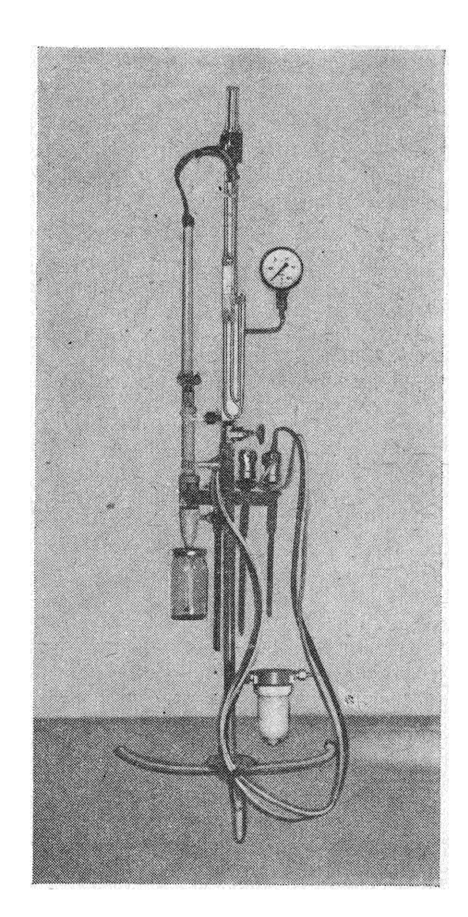


Bild 4. Gesamtansicht des Staubmeßgerätes Emitest-5P ▶

3. Staubabscheidung aus der Probe

Bei Emissionsmessungen in Abgasen ist eine Staubabscheidung mit Hilfe von Meßfiltern notwendig. Die Anwendung von solchen Filtern bei Probeentnahme von Kohlenstaub aus Leitungen pneumatischer Förderanlagen ist sehr lästig. Deshalb werden oft zu diesem Zweck einfache Meßzyklone verwendet. Sie arbeiten jedoch mit zu niedrigem Wirkungsgrad, und die Kornzusammensetzung wird verfälscht.
Es entstand die Idee, für beide Meßaufgaben einen zweistufigen Zyklonabscheider mit hohem Wirkungsgrad (bis zu 99%) [5] (Bild 3) anzuwenden. Aus der abgesaugten Gasprobe werden in

der ersten Zyklonstufe die groben Körner abgeschieden. Dann wird die Gasprobe in einen Drehströmungsentstauber (oberer Teil) geleitet, wo die genaue Abscheidung der verbleibenden Staubteilchen erfolgt. Der Staub fällt in ein besonderes Fanggefäß. Der Gasdurchfluß durch das System wird durch einen Preßluftejektor erzwungen. Der Speisedruck des Ejektors wird mit einem Drosselventil geregelt. Um den Abscheidegrad zu erhöhen, wird in den oberen Teil des Drehströmungsentstaubers durch eine kalibrierte Düse ein Hilfsstrom $\dot{M}_p$ der Druckluft eingeführt. Das Verhältnis $\frac{\dot{M}_p}{\dot{M}_s}$ soll in engen, durch Versuche festgestellten Grenzen von 0,6 bis 0,7 liegen. $\dot{M}_s$ ist der Massenstrom der Gasprobe. Der angenommene Wert des Verhältnisses wird unabhängig vom Druck p_a der Luft vor der Düse des Ejektors aufrechterhalten. Dies wird durch Anwendung einer kalibrierten Düse für den Lufthilfsstrom, die unterkritisch arbeitet, und dank den besonderen Eigenschaften der Kennlinie des Ejektors erreicht.
Bild 4 zeigt das Staubmeßgerät Emitest-5P mit dem genannten Drehströmungsentstauber. Das Gerät ist für die Probeentnahme des Kohlenstaubes aus pneumatischen Förderleitungen in einem Heizkraftwerk bestimmt. Das zusätzliche Gewebefilter dient zu genauen Kontrollmessungen.

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, daß unter gewissen Bedingungen die nichtgeschwindigkeitsgleiche Absaugung der Gasprobe mit konstanter Geschwindigkeit angewendet werden kann. Es hat sich ergeben, daß für die Gaußsche Geschwindigkeitsverteilung im Abgaskanal die Anwendung einer Absauggeschwindigkeit, die der mittleren Geschwindigkeit gleich ist, zu Meßfehlern führt, die den Wert von 1% nicht überschreiten.
Es wird auf die Notwendigkeit der Untersuchung der Geschwindigkeits-Verteilungsgesetze in den Abgaskanälen typischer industrieller Anlagen hingewiesen. Dies kann zur Verbesserung der Durchflußregelung in Filter-Staubmeßgeräten führen.
Eine Lösung der Entnahmesonde mit eingebauter Venturidüse wurde vorgestellt. Diese Sonde ermöglicht, Fehler, die bei den bekannten Nulldrucksonden auftreten, auszuschalten. Die genannte Sonde in Verbindung mit einer Verhältnisregelung des Durchflusses kann zur unmittelbaren Messung der Staubemission dienen.
Im Beitrag wurde auch eine Lösung des Drehströmungs-Staubabscheiders für Meßzwecke angegeben. Der Abscheider arbeitet zweistufig und erreicht einen Wirkungsgrad von 99%. Ein Beispiel der Anwendung des Abscheiders in einem Staubmeßgerät für Kohlenstaub wurde dargestellt.

Literatur

[1] *Bohnet, M.:* Particulate Sampling. Offprints From Air Pollution Control, Part III. New York: John Wiley & Sons Inc. 1978.
[2] *Levitov, V. L.:* Dymovye elektrofiltry (Elektroabscheider für Rauchgase). Moskva: Izd. Energija 1980.
[3] *Röthele, S.:* Verfahren zur geschwindigkeitsgleichen Absaugung mit Differenzdrucksonden. Z. Staub-Reinhalt. Luft 42 (1982) 1, S. 6–10.
[4] *Teisseyre, M.:* Sonda do pobierania próbek zapylonego gazu. Zgłoszenie patentowe Nr-P-237500 (Entnahmesonde für Proben von Gas-Staub-Gemisch. Polnische Patentanmeldung). Ausgabe 1982.
[5] *Teisseyre, M.:* Urządzenie do separowania pyłu pobieranego z kanałow przepływowych. Zgłoszenie patentowe Nr-P-237501 (Einrichtung zur Abscheidung von Staub aus Gasproben aus Leitungen pneumatischer Förderanlagen. Polnische Patentanmeldung). Ausgabe 1982.
msr 7921

G. Schmiedeberg; U. Schöpflin[1]

Volumenumwerter als Zusatzgerät für Durchflußmeßeinrichtungen mit frequenzanalogem Ausgangssignal[2]

0. Einleitung

Volumenstrommeßeinrichtungen stehen in ihrer Häufigkeit nach der Temperaturmessung an zweiter Stelle. Da Gase und Flüssigkeiten unter dem Einfluß von Druck und Temperatur ihr Volumen ändern, ist es für Verrechnungen, Bilanzierungen und Planung notwendig, das unter Betriebsbedingungen gemessene Volumen in ein Bezugsvolumen umzurechnen. Hierfür kommen die bekannten Norm- bzw. Standardwerte für Druck und Temperatur zur Anwendung:

$$p_n = 101{,}325\ \text{kPa}$$

$$T_n = 273{,}15\ \text{K} \quad \text{bzw.} \quad T_{st} = 288{,}15\ \text{K}\,.$$

Gleiches gilt für die Verrechnungsgrößen Masse bzw. Massestrom und Wärmemenge (Bild 1).
Je nach verwendetem Meßverfahren und Zustandsform des gemessenen und zu verrechnenden Meßstoffs ergeben sich die verschiedensten Umwertealgorithmen:
Stehen Dichte-Meßgeräte zur Verfügung, so kann allgemein nach der Gleichung

$$\dot{V}_n = \frac{\varphi}{\varphi_n} \cdot \dot{V}_1$$

eine Dichte-Mengen-Umwertung vorgenommen werden, anderenfalls erfolgt eine Zustands-Mengen-Umwertung, die für frequenzanaloge Meßverfahren für Gase nach der Gleichung

$$\dot{V}_0 = \frac{p_{abs}}{p_n} \cdot \frac{T_0}{T_1} \cdot \frac{1}{k}\,\dot{V}_1$$

k Kompressibilitätszahl

und analog dazu für Flüssigkeiten nach der Gleichung

$$\dot{V}_0 = \dot{V}_1 \frac{1}{[1 + \gamma(T_1 - T_0)]\,[1 - \varkappa(p_1 - p_n)]}$$

$$\dot{V}_0 \left\langle \begin{matrix}\dot{V}_n \\ \dot{V}_{st}\end{matrix} \right. \quad \text{bzw.} \quad T_0 \left\langle \begin{matrix}T_n \\ T_{st}\end{matrix} \right.$$

$$\dot{V}_1 = f_x \frac{1}{k_f}$$

γ Volumenausdehnungskoeffizient
$\varkappa$ Kompressibilitätskonstante
f_x Impulsfolgefrequenz
k_f Kalibrierfaktor

vorgenommen wird.
In beiden Gleichungen stehen neben den Betriebsgrößen Druck und Temperatur die Variablen k bzw. γ und $\varkappa$, die ihrerseits von Druck und Temperatur aber auch vom Meßstoff selbst abhängig sind. Auf die Berechnungsproblematik dieser Variablen soll in diesem Beitrag jedoch nicht eingegangen werden. Geeigneterweise wird die Umwertung der gemessenen Verrechnungsgrößen gerätemäßig vollzogen, und zwar, falls möglich, im Meßgerät selbst oder aber in einem speziell entwickelten Umwerter.

1. Notwendige Randbedingungen für Umwerter

Wie bereits gesagt, ergeben sich je nach Zustandsform des zu verrechnenden Meßstoffs und verwendetem Meßverfahren unterschiedliche Umwertealgorithmen. Bei Volumenstrommessern nach dem frequenzanalogen Meßverfahren, zu denen z. B. der Wirbelvolumenstrommesser gehört, wird der Volumenstrom als

---

[1] Dr.-Ing. *Gisela Schmiedeberg* (39) erlernte den Beruf eines Funkmechanikers. 1965 bis 1970 studierte sie an der TU Dresden Elektroakustik. 1970 bis 1973 Forschungsstudent an der TU Dresden auf dem Gebiet der Signalanalyse. 1974 Promotion A. Seit 1973 Mitarbeiter für Forschung und Entwicklung am Institut für Regelungstechnik Berlin.

Dipl.-Ing. *Ulrich Schöpflin* (29) studierte an der TU Dresden, Sektion Informationstechnik, Bereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerung. Seit 1981 Mitarbeiter für Forschung und Entwicklung am Institut für Regelungstechnik in Berlin.

[2] Nach einem Vortrag zum 3. Kolloquium „Meßtechnik für thermische Energieanlagen" der TU Dresden (13. und 14. April 1983).

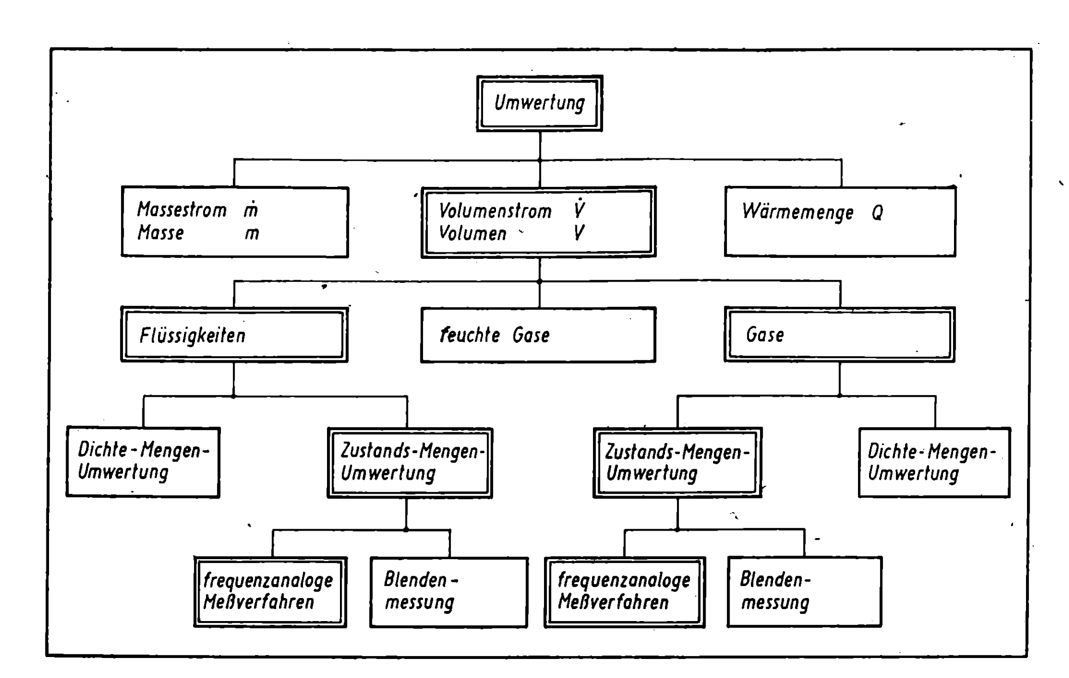


Bild 1. Übersicht zur Umwertung

Impulsfolge — das ist das verarbeitete frequenzanaloge Signal mit $f \sim \dot{V}$ — bereitgestellt (Bild 2).
Die Prozeßgrößen Druck und Temperatur werden meist als Einheitsstromsignale angeboten. Aber auch das direkte Angebot als Widerstandswert ist möglich. Somit sind für einen Umwerter nach dem frequenzanalogen Meßverfahren mindestens folgende Eingänge notwendig:

- Ein Impulseingang für die Impulsfolge mit der Information $f \sim \dot{V}$
- Mindestens drei Analogeingänge für Einheitsstromsignale mit den Informationen
  - Meßstofftemperatur T_1
  - Absolutdruck p_{abs} oder aber statt dessen atmosphärischer Druck p_{atm} und
  - Meßstoffdruck p_1,

  wobei gilt:

$$p_{abs} = p_{atm} + p_1 .$$

Je nach Genauigkeit des Umwerters werden die Werte für k, γ und $\varkappa$ als Konstanten vorgegeben oder aber als Tabelle bzw. Funktion in den Umwerter eingegeben.
Aus Gründen des Ex-Schutzes müssen die Eingänge des Umwerters selbst den Bestimmungen der Eigensicherheit entsprechen oder aber es müssen die Signale durch Sicherheitsbarrieren vom Prozeß getrennt werden (Bild 2).
Neben den schon bekannten mechanischen Umwertern und den elektronischen analogen Lösungen entstehen zunehmend elektronische digitale Lösungen und hier vorwiegend Lösungen mit Mikrorechner. Sie sind zwar in der Regel aufwendiger und damit teurer als die vorgenannten Lösungen, liefern dafür in der Regel aber höhere Genauigkeit, Universalität und höheren Komfort. Für die DDR bieten sich derzeit Lösungen mit dem 8-bit-Prozessor U 880 an, der auch die Basis für den Mikrorechner K 1520 darstellt (Bild 3).

2. Mikrorechnersystem

Mikrorechnersysteme werden heute vielfältigst eingesetzt (Bild 4). Sie bestehen aus dem Mikrorechner und der Prozeßperipherie sowie der Software, die das Betriebssystem und den jeweiligen Algorithmus beinhaltet. Der Mikrorechner selbst wird durch das Mikroprozessorsystem mit dem Mikroprozessor und Zusatzschaltkreisen sowie der Standardperipherie gebildet. Diese Konfiguration ist bereits in der Lage, in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit der Standardperipherie (hier vor allem der Speicherkapazität) Eingangsgrößen mit beliebigem Algorithmus beliebig zu verknüpfen. Hierfür soll als Beispiel der K 1520 stehen.
Für den durch Mikrorechner zu realisierenden Umwerter spielt jedoch die Prozeßperipherie eine wesentliche Rolle; sie erst stellt die Verbindung zum Prozeß her und ist dem jeweiligen Anwendungsfall anzupassen. Erst durch den Anwendungs-Algorithmus, Bestandteil der Software, entsteht das spezifisch zu realisierende Gerät.

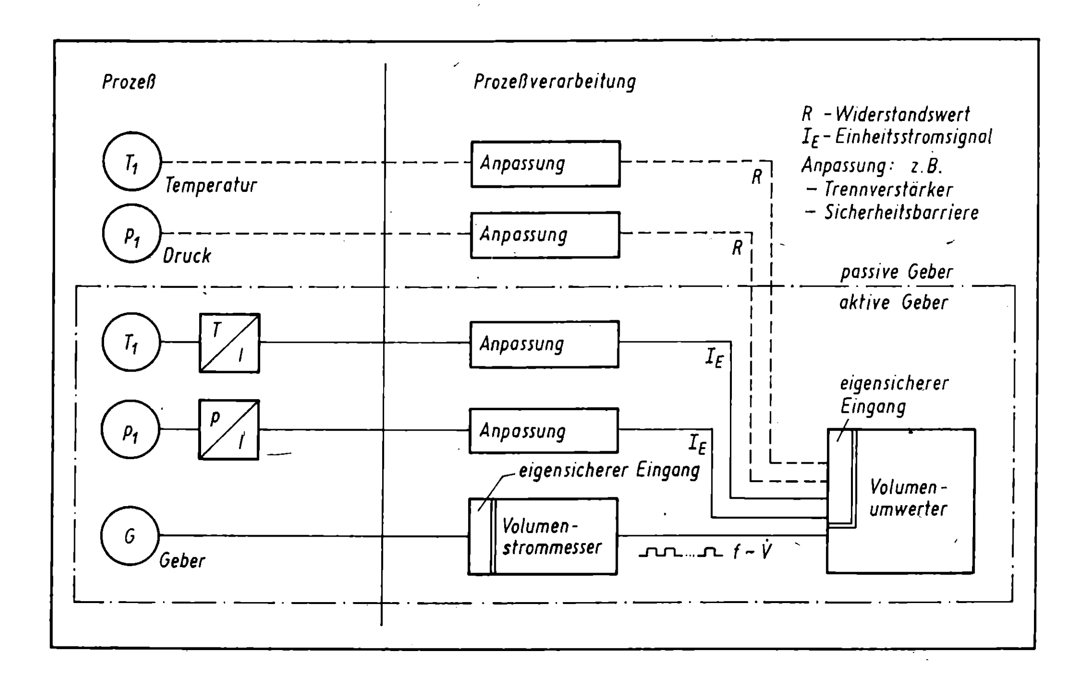


Bild 2. Randbedingungen für den Umwerter

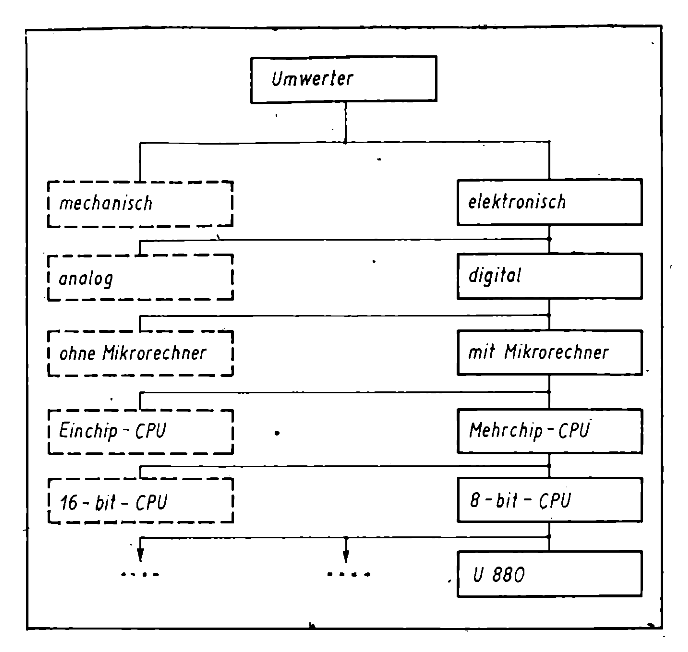
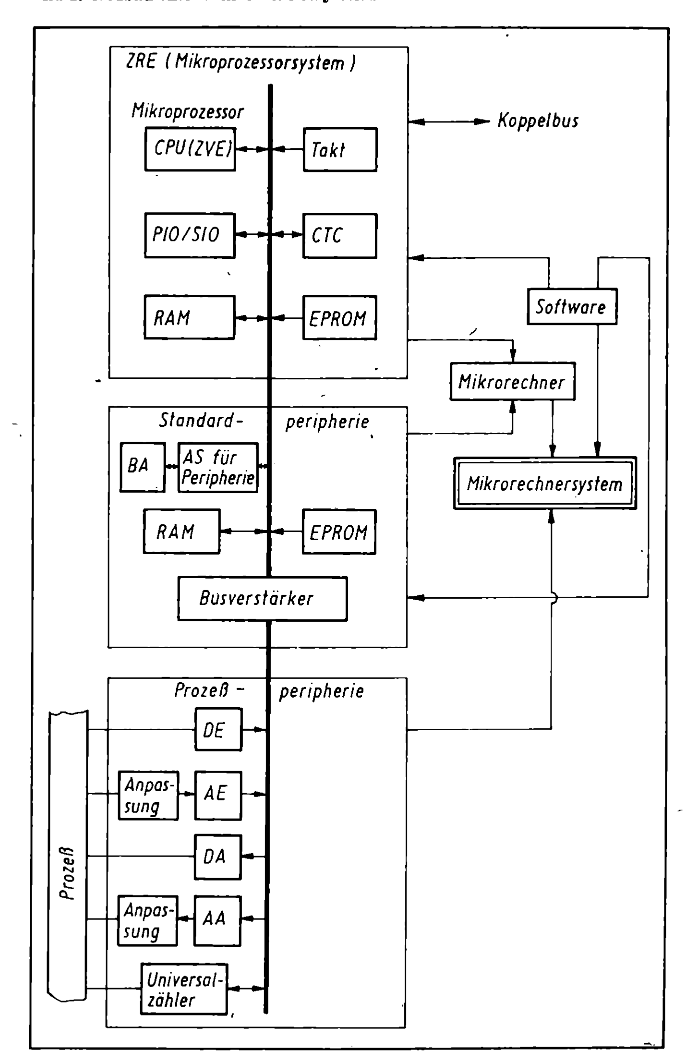


Bild 3. Lösungsmöglichkeiten für Umwerter

3. Umwerter-Konzeption

Im folgenden soll die Konzeption eines Umwerters für gasförmige und flüssige Meßstoffe für Volumenstrommesser, die nach dem frequenzanalogen Meßverfahren arbeiten, vorgestellt werden.

Bild 4. Aufbau eines Mikrorechnersystems



3.1. Software

Wie bereits gesagt, enthält die Software das Betriebssystem, d. h. die Organisation der ZVE mit den Zusatzschaltkreisen und der Peripherie, den eigentlichen Anwendungs-Algorithmus sowie ein Arithmetik-Programm-Paket (Bild 5).
Das Hauptprogramm beinhaltet eine Vorbereitungsphase, in der alle Zusatzschaltkreise und Speicher initialisiert werden, die Parametereingabe erfolgt und die Konstantenberechnung vollzogen wird. Alle Eingangsgrößen — Impulsfolge und Einheitsströme — werden hardwaremäßig erfaßt und in aufbereiteter Form durch Interrupt eingelesen. Es erfolgen Umrechnungen der Frequenzwerte in Volumenstrom- bzw. Volumenwerte, der Einheitsstromwerte in die physikalischen Werte Druck und Temperatur, Zuordnung der k-Zahlen und erste Sinnfälligkeitstests. Dann beginnt die eigentliche Umwertung nach den schon eingangs genannten Algorithmen. Schließlich erfolgt die Ausgabe der Norm- bzw. Standardwerte für Volumenstrom und aufsummiertes Volumen sowie (falls erwünscht) der Eingangswerte. Eine Überwachungsroutine sorgt für den ungestörten Ablauf; bei Fehler erfolgt Fehlermeldung.

3.2. Hardware

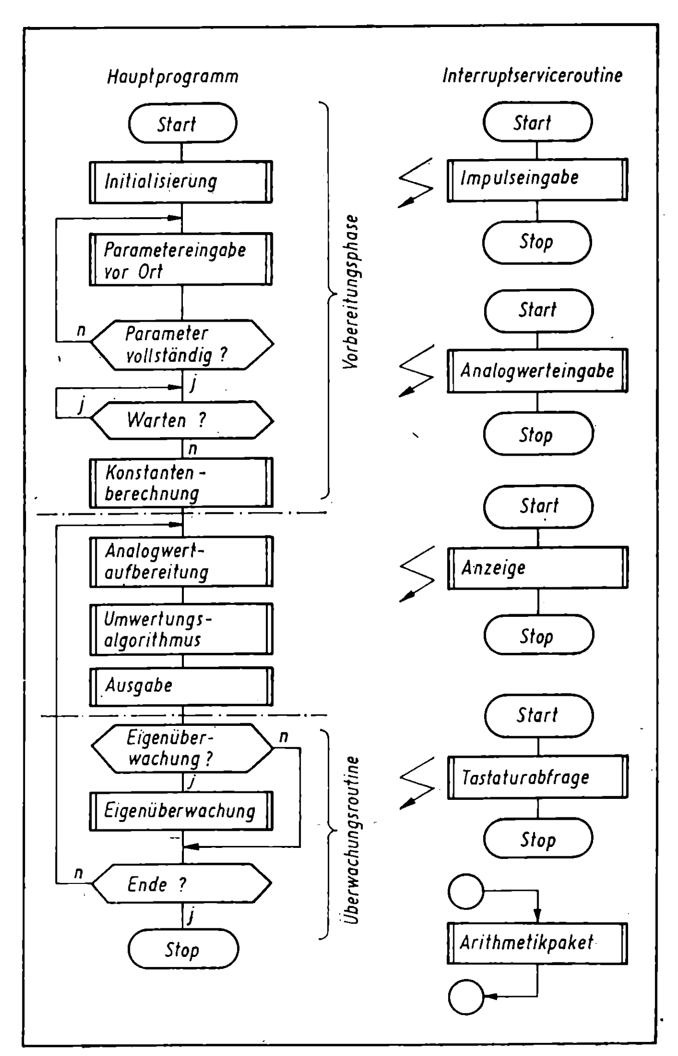
Sie ist im Bild 6 dargestellt.

— ZVE-Modul
Der ZVE-Modul enthält neben dem Mikroprozessor einen programmierbaren Zählerschaltkreis sowie einen 2-Kbyte-Programmspeicher und einen 1-Kbyte-Operativspeicher

— Speicher-Modul
Der Speicher-Modul (Bestandteil der Standardperipherie) enthält einen 7-Kbyte-Programm- und einen 1-Kbyte-Operativspeicher

— Analogwerteingabe-Modul
Im Analogwerteingabe-Modul (Bestandteil der Prozeßperipherie) erfolgt die Wandlung der Einheitsstromsignale in definierte Spannungssignale sowie eine Filterung der Analog-

Bild 5. Programmablaufplan Volumenumwerter



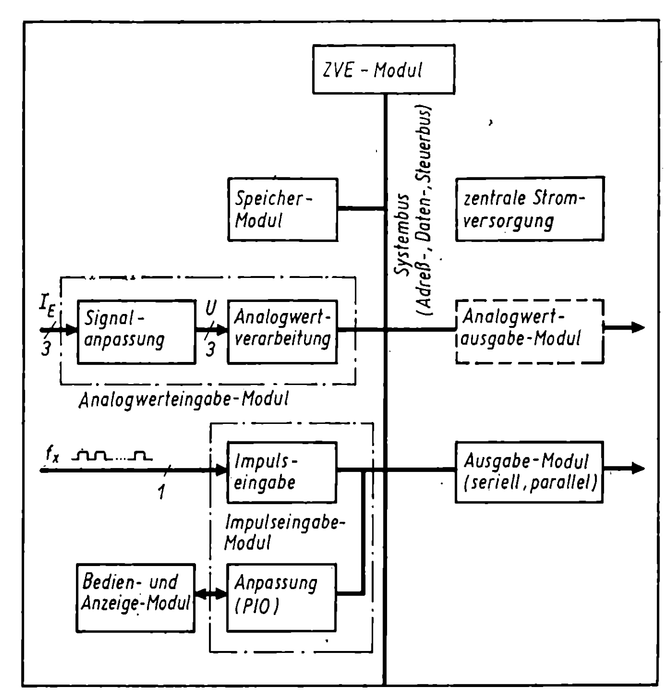


Bild 6. Architektur des Volumenumwerters

signale, die Digitalisierung der Spannungswerte und die Übergabe in die Speicher durch Interrupt

- Impulseingabe-Modul

  Er hat die Aufgabe der Integration der vom Volumenstrommesser kommenden Impulsfolge und der zyklischen Übergabe der integrierten Impulszahl durch Interrupt an den Rechner
- Ausgabe-Modul

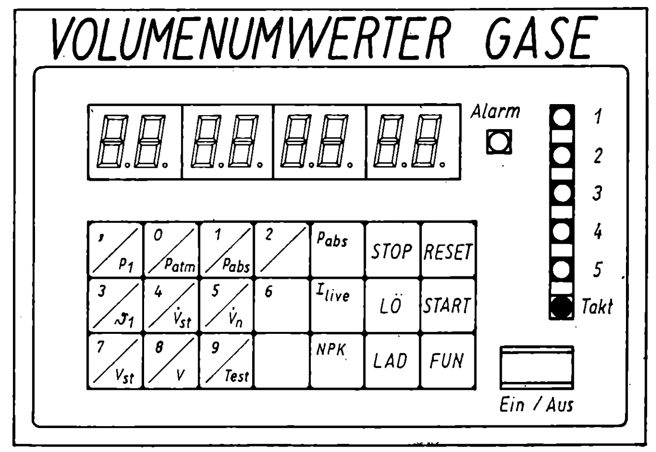
  Mit ihm ist die Ausgabe von Ergebnis-, Prozeß- und Fehlerinformationen des Volumenumwerters über parallele bzw. serielle Schnittstelle möglich
- Bedien- und Anzeige-Modul (Bild 7)

  Die Anzeige erfolgt über ein 8stelliges 7-Segmentdisplay sowie über Leuchtdioden. Zur Anzeige kommen als Hauptwert das integrierte Volumen im Norm- bzw. Standardzustand und wahlweise Ergebnis-, Prozeß- und Fehlerinformationen. Die Eingabe erfolgt über eine Tastatur, mit der die meßortspezifischen Parameter eingeschrieben werden. Außerdem ist die Anwahl zusätzlicher Ergebnis-, Prozeß- und Fehlerinformationen sowie die Steuerung des Programmablaufs möglich.

4. Leistungsfähigkeit eines zu konzipierenden Gerätes in der ersten Bearbeitungsphase

In einer ersten Phase der Bearbeitung entsteht eine Hardwarekonfiguration, wie im Abschn. 3.2. vorgestellt (Bild 6). Mit dieser Hardware lassen sich eine Reihe Umwertgleichungen realisieren. In einer ersten Etappe sollen zunächst die zwei Gleichungen zur Umwertung von Gasen und Flüssigkeiten auf Norm- bzw. Standardbedingungen realisiert werden. Dabei wird zu-

Bild 7. Bedien- und Anzeige-Modul



nächst ein Volumenstrommesser vorausgesetzt, der eine Impulsfolge mit $f \sim \dot{V}$ zur Verfügung stellt (z. B. Wälzkolbenzähler, Turbinenzähler o. ä. und Wirbelvolumenstrommesser). Das Gerät ist jedoch noch nicht für den eichpflichtigen Verkehr vorgesehen.

5. Leistungsfähigkeit eines zu konzipierenden Gerätes in weiteren Bearbeitungsphasen

In einer zweiten Phase der Bearbeitung soll ein Volumenumwerter entwickelt werden, der den Bedingungen des eichpflichtigen Verkehrs genügt. Dabei sollen ebenfalls die Gleichungen Grundlage sein, die auch in der ersten Bearbeitungsphase realisiert werden.

Folgende Forderungen werden an den Volumenumwerter für den Einsatz im eichpflichtigen Verkehr gestellt:

- Realisierung der Gleichungen so, daß eine ständige Überwachung aller Eingangs- und Ausgangsgrößen möglich ist
- Eingabe der Impulsfolge ($f \sim \dot{V}$) ist doppelt auszuführen
- Druck- und Temperaturmeßwerte sind auf ihre Sinnfälligkeit zu testen
- Bestimmte Korrekturfaktoren (z. B. k-Zahl, $\varkappa$ o. ä.) sind in den Gleichungen zu berücksichtigen
- Störungen müssen angezeigt und registriert werden
- Das Gerät muß vor unbefugten Bedienerhandlungen geschützt sein.

Unabhängig von den Einsatzbedingungen des eichpflichtigen Verkehrs wird (gemäß Bild 1) das Konzept des Volumenumwerters so angelegt, daß in weiteren Bearbeitungsphasen durch Ergänzung der Hardware- und Softwaremodule eine Umwertung für das Blendenverfahren, die Umwertung unter Berücksichtigung eines Dichtemessers, die Berechnung der Masse und der Wärmemenge denkbar sind. Weiter sollen die Eingänge des Volumenumwerters den Bedingungen der Eigensicherheit genügen sowie die Möglichkeit für den Anschluß passiver Geber geschaffen werden (s. Bild 2).

6. Schwierigkeiten bei der technischen Realisierung

Schwierigkeiten bei der technischen Realisierung des Volumenumwerters, aber auch anderer MSR-Geräte, auf der Basis von Mikrorechnern ergeben sich

- aus der Einhaltung der geforderten Genauigkeit des Volumenumwerters
  - Analogwerteingabe ist schwächstes Glied des Volumenumwerters; als Ursache ist das Problem des Abgleichs des A/D-Wandlers und des vorgeschalteten I/U-Wandlers zu nennen;

    eine teilweise Lösung dieses Problems ist u. U. durch zyklischen Abgleich über Programm möglich
- aus dem Betreiben des Gerätes unter den unterschiedlichen Industriebedingungen
  - Brummeinstreuung über Netz direkt oder indirekt
  - Einstreuung von Schaltspitzen über Netz (→ gewisse Abhilfe durch Netzfilter)
  - gegenseitige Beeinflussung von benachbarten Leiterbahnen auf den Leiterkarten
  - Temperatureinflüsse
  - Netzausfall (Datenrettung notwendig)
  - mechanische Belastung des Gerätes (z. B. Steckverbindungen lösen sich).

Diese Einflüsse können durch geeignete konstruktive, elektronische bzw. programmtechnische Lösungen gemindert werden. Große Bedeutung bei MSR-Geräten auf Mikrorechnerbasis hat dabei die Eigenüberwachung durch den Mikroprozessor. Im Volumenumwerter ist deshalb ein Programm-Modul zur Eigenüberwachung vorhanden, der zyklisch abgearbeitet wird. Er dient

- der Fehlerortung
- der anschließenden Fehleranzeige
- der Fehlerbeseitigung von festgelegten Fehlern (z. B. Neustart nach Netzausfall mit den geretteten Parametern).

Zusammenfassung

Der Beitrag sollte die Notwendigkeit der Entwicklung eines Volumenumwerters auf Mikrorechnerbasis verdeutlichen. Es wurde eine Konzeption vorgestellt, die dem heutigen internationalen Stand entspricht. Die Vorteile eines derartigen Volumenumwerters sind zum einen die zu erzielende hohe Genauigkeit, die bei der Energiebilanzierung eine wesentliche Kosteneinsparung mit sich bringt, und zum anderen die Möglichkeit der Realisierung eines universellen und komfortablen Gerätes. msr 7933

M. Zacharias; P. Zacharias[1])

Beitrag zur Optimierung von Technologien in der Fertigung

0. Einleitung

Sparsamster Einsatz von Material und Energie und effektive Anlagenauslastung besonders in der Fertigung führen zu der Forderung nach der Wahl optimaler Parameter für den Bearbeitungsprozeß. An der TH Magdeburg wurde deshalb vor einigen Jahren mit dem Aufbau des „Schnittwertspeichers" zur Optimierung der Abspanntechnik begonnen. An den Sektionen „Technologie der mvI" und „Technische Kybernetik und Elektrotechnik" wird an der Optimierung der elektroerosiven Metallbearbeitung gearbeitet, um die Fertigung mittels entsprechender Anlagen rationeller zu gestalten.

Der Einsatz moderner, numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen macht die Archivierung optimierter Bearbeitungsparameter im PROM-Bereich der Mikrorecheneinheiten wünschenswert, da dadurch die Flexibilität der Fertigungsmittel steigt und der Aufwand an technologischer Vorbereitung sinkt. Der von vornherein begrenzte Speicherbereich der eingesetzten Mikrorechner macht besondere Methoden zur Datenverdichtung notwendig, um einer Vielzahl von Fertigungsaufgaben gerecht zu werden. Methoden zur effektiven Datenverdichtung sind daher Gegenstand des Beitrages. Besonderer Wert soll hierbei auf die mikrorechnergerechte Darstellung der aufbereiteten Daten gelegt werden.

1. Aufbereitung der Primärdaten

Für viele Fertigungsverfahren sind die theoretischen Grundlagen nicht für eine quantitative Ermittlung der optimalen Parameter ausreichend. I. allg. ist man auf empirisch gewonnene Datensätze angewiesen. Aus Zeitgründen können die Daten nicht in beliebiger Dichte gewonnen werden. Es sind daher Interpolations- oder Approximationsmethoden notwendig, um über Zwischenwerte verfügen zu können. Weit verbreitet sind hierbei approximierende Polynome, die durch eine lineare Regressionsanalyse gewonnen werden. Diese Polynome haben bei Datensätzen relativ geringer statistischer Sicherheit den Vorteil, daß statistische Abweichungen vom tatsächlichen Verlauf teilweise ausgeglichen werden.

Bei Regressionsverfahren wirken sich die notwendigerweise vorzugebenden Ansätze (Funktionstyp der Glieder der Funktionsreihen) negativ aus, wenn die Basisfunktionen andere Eigenschaften haben als der zu approximierende tatsächliche Verlauf (als Beispiel sei hier die Annäherung der Logarithmusfunktion durch Polynome genannt). Die Variabilität des eingesetzten Programmsystems wird eingegrenzt, da für eine Näherung eines in Stützstellen vorgegebenen Verlaufes immer mehrere verschiedene Ansätze zu testen sind, um die günstigste Beschreibungsform zu finden. Statistische Abweichungen vom tatsächlichen Verlauf werden auch nur dann ausgeglichen, wenn eine genügend hohe Anzahl von Meßwerten zur Verfügung steht. Entsprechen die darzustellenden Verläufe in ihren Eigenschaften nicht denen von Polynomen niederer Ordnung, ist man zum Übergang zu solchen höherer Ordnung gezwungen. Polynome höherer Ordnung neigen jedoch zu Oszillationen im Verlauf der Approximationsfunktion [1] und weichen daher u. U. stark vom tatsächlichen Verlauf ab.

Bewährt haben sich für die Ermittlung interpolierter Werte die Hermite-Interpolation und insbesondere die kubische Spline-Interpolation [2].

Die kubische Spline-Interpolation soll im folgenden kurz erläutert werden. Bei diesem Verfahren wird für den Verlauf zwischen zwei benachbarten Stützwerten ein interpolierendes Polynom 3. Grades gesucht, das verschiedenen Randbedingungen genügt. Man erhält eine Reihe von abschnittsweise erklärten

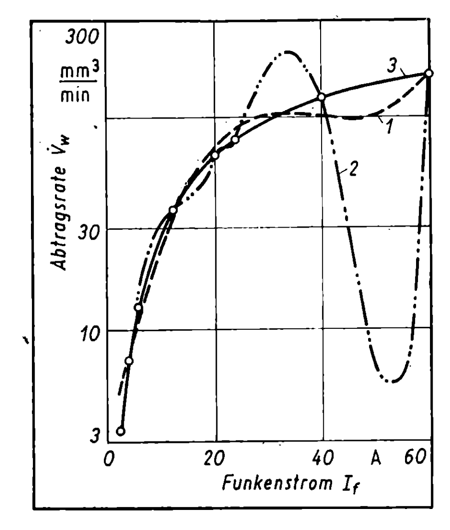


Bild 1. Vergleich unterschiedlicher Approximationsmethoden
1 Polynom 3. Grades
2 Polynom 7. Grades
3 Spline-Interpolation

Polynomen 3. Grades, so daß der sich ergebende Verlauf zweimal stetig differenzierbar ist. Gleichzeitig erfüllt die Interpolation die Forderung

$$\int_a^b [y''(x)]^2 \, dx \Rightarrow \text{Min!} \qquad (1)$$

Die Krümmung der Interpolationsfunktion wird minimal, d. h., der Verlauf erscheint sehr glatt. Der Verlauf entspricht damit dem eines durch alle Stützwerte gelegten Gummilineals. Das sich aus den Bedingungen ergebende lineare Gleichungssystem ist stets mit dem iterativen Algorithmus nach *Seidel* [2] lösbar.

Durch die Erfüllung der o. g. Bedingungen werden die sonst bei Polynomen höherer Ordnung auftretenden Oszillationen vermieden. Da die Spline-Interpolation abschnittsweise unter Berücksichtigung des Verlaufes außerhalb des betrachteten Abschnittes erfolgt, ist die Anpassung an sehr unterschiedliche Funktionsverläufe möglich. Im Bild 1 wird zur Veranschaulichung der Leistungsfähigkeit der Verfahren zur Interpolation bzw. Regression ein Vergleich der ermittelten Verläufe dargestellt.

Die Spline-Interpolation wird im weiteren zur Ermittlung von Zwischenwerten für die Lösung des Problems der Optimierung technologischer Parameter angewendet.

2. Optimierungsproblem

Im Beitrag soll die optimale Verfahrensgestaltung der elektroerosiven Senkbearbeitung im Vordergrund stehen. Die elektroerosive Metallbearbeitung ist ein hochproduktives Verfahren zur Erzeugung von komplizierten Formen auch in äußerst zähen und harten metallischen Werkstoffen. So werden z. B. Gesenke, Preßwerkzeuge u. ä. mit Hilfe der elektroerosiven Senkbearbeitung sehr ökonomisch hergestellt.

Bei der Verfahrensgestaltung ist der Forderung zu genügen, bei gesicherter Qualität des zu fertigenden Teiles die Fertigungskosten zu minimieren. Gleichzeitig sollen in diesem Zusammenhang Möglichkeiten beschrieben werden, wie der Aufwand für die Fertigungsvorbereitung durch entsprechende Darstellung der Daten in verdichteter Form drastisch verringert werden kann.

Beim elektroerosiven Senken handelt es sich um ein Abtragsverfahren, bei dem durch hochfrequente Funkenüberschläge zwischen Werkzeugelektrode und Werkstück Materialteile aufgeschmolzen und abgetragen werden [3], so daß sich die Kontur des Werkstücks der Form der Werkzeugelektrode anpaßt. In Abhängigkeit technisch vorgebbarer Parameter läßt sich die Abtragsrate $\dot{V}_W$ (abgetragenes Volumen je Zeiteinheit), der relative Elektrodenverschleiß ϑ (abgetragenes Werkzeugvolumen je abgetragenem Werkstückvolumen) sowie die erzeugte Oberflächenrauhigkeit R_t (maximale Rauhtiefe) des Werkstückes verändern.

Als wesentliche zu optimierende Parameter wurden Funkenstrom I_f und Funkenbrenndauer t_i aufgrund von Voruntersuchungen ausgewählt. Weitere, hier nicht berücksichtigte Grö-

[1]) Dipl.-Physiker *Margit Zacharias* (27) studierte von 1975 bis 1980 an der Karl-Marx-Universität in Leipzig Physik. Seit 1980 als wissenschaftliche Assistentin an der Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik der TH „Otto von Guericke" Magdeburg. Dortiges Arbeitsgebiet: Mathematische Methoden zur Linearisierung von Kennlinien an Sensoren und zur Datenreduktion.

Dr.-Ing. *Peter Zacharias* (26) studierte von 1976 bis 1979 an der TH „Otto von Guericke" Magdeburg Elektrotechnik. Anschließend Forschungsstudent und seit 1982 wissenschaftlicher Assistent an der Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik dieser Hochschule. 1982 Promotion A. Arbeitsgebiete: Mathematische Modellierung nichtkonventioneller Metallbearbeitungsverfahren und elektronische Schaltungstechnik für meßtechnische Aufgabenstellungen.

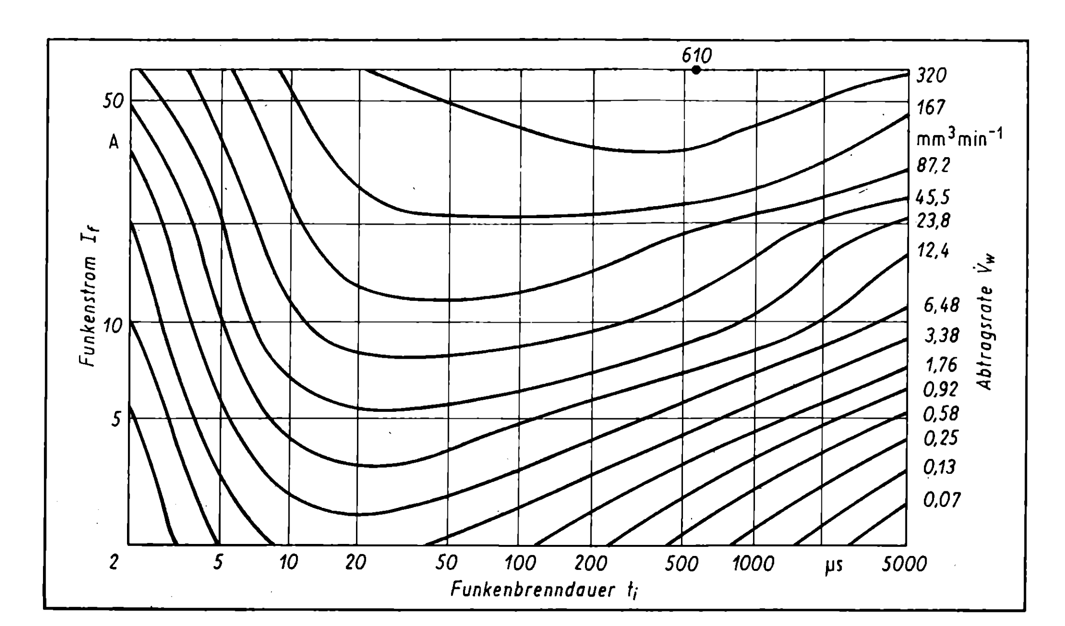


Bild 2. Abhängigkeit der Abtragrate von Funkenstrom und Funkenbrenndauer

ßen sind: Impulspausenzeit, Spülmenge des Dielektrikums, Stromdichte an den im Eingriff befindlichen Elektrodenflächen u. a. Die technologisch wichtigen Kenngrößen Abtragsrate, relativer Werkzeugelektrodenverschleiß und Oberflächenrauhigkeit wurden auf der Basis ermittelter Meßwerte in Näherungs- bzw. Approximationsfunktionen entwickelt (Bilder 2 bis 4), so daß als gegeben angenommen werden kann:

$$\left.\begin{aligned} \dot V_w &= \dot V_w(I_f, t_i) \\ \vartheta &= \vartheta(I_f, t_i) \\ R_t &= R_t(I_f, t_i)\,. \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Diese Funktionen wurden durch wiederholte Spline-Interpolationen erzeugt, so daß die Abhängigkeiten in Form von Wertefeldern vorlagen. Wie im folgenden Abschnitt beschrieben, ist auch diese Darstellung möglich:

$$\dot V_w = \sum_{\mu=1}^{k} f_\mu(I_f) \cdot g_\mu(t_i)\,, \qquad (3)$$

usw. Dabei kann gleichzeitig eine Verringerung des Einflusses stochastischer Störgrößen erreicht werden.

Die Größe Rauhtiefe R_t stellt neben den für die Maschine möglichen Parameterkombinationen eine Randbedingung für das Optimierungsproblem dar. Wie aus einer Untersuchung in [4] hervorgeht, ist das Optimierungsproblem hinsichtlich der Minimierung der variablen Fertigungskosten je abzutragendem Volumen zweckmäßig wie folgt zu formulieren:

$$\frac{K_{var}(I_f, t_i)}{V_w} = \frac{K_1}{\dot V_w(I_f, t_i)} + \frac{K_2}{100\%} \cdot \vartheta(I_f, t_i) \Rightarrow \text{Min!} \qquad (4)$$

für $R_t(I_f, t_i) \leqq R_{max}$.

Das unter (4) dargestellte Problem verändert sich hinsichtlich der Lösungen $I_{f\,opt}$ und $t_{i\,opt}$ nicht, wird die erste Gleichung in (4) wie folgt dargestellt:

$$\frac{K_{var}(I_f, t_i)}{K_1 \cdot V_w} \Rightarrow \frac{1}{\dot V_w(I_f, t_i)} + \frac{K_2}{K_1} \cdot \frac{\vartheta(I_f, t_i)}{100\%} \Rightarrow \text{Min!} \qquad (5)$$

In der Konstanten K_1 sind solche Kostenanteile zusammengefaßt wie Lohnkosten, Energiekosten, Produktionsfondsabgabe, Abschreibungen, Hilfsstoff- und sonstige Kosten bezogen auf eine Zeiteinheit. In der Konstanten K_2 sind alle werkzeugbezogenen Kosten je zulässigem Verschleißvolumen zusammengefaßt. Durch die Umformung (5) sind die Optimalparameter unter Berücksichtigung der Randbedingungen als Funktionen geordneter Paare $\left(\frac{K_2}{K_1}, R_{max}\right)$ darstellbar, so daß

$$\left.\begin{aligned} I_{f\,opt} &= I_{f\,opt}\left(\frac{K_2}{K_1}, R_{max}\right) \\ t_{i\,opt} &= t_{i\,opt}\left(\frac{K_2}{K_1}, R_{max}\right) \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

ist. In [5] sind verschiedene Verfahren zur Bestimmung des Optimums beschrieben, die hier zur Anwendung kommen können. Günstige Ergebnisse bezüglich der Rechenzeit liefern Gradienten- und Zufallssuchverfahren. Auch wenn bei der Formulierung des Optimierungsproblems weitere Parameter Berücksichtigung finden, werden die optimalen Parameter in der Form (6) darzustellen sein. I. allg. wird eine Tabellierung der Optimalparameter zu aufwendig sein, insbesondere wenn man bedenkt, daß die Werte nur für die untersuchte Materialpaarung Werkzeug—Werkstück gilt.

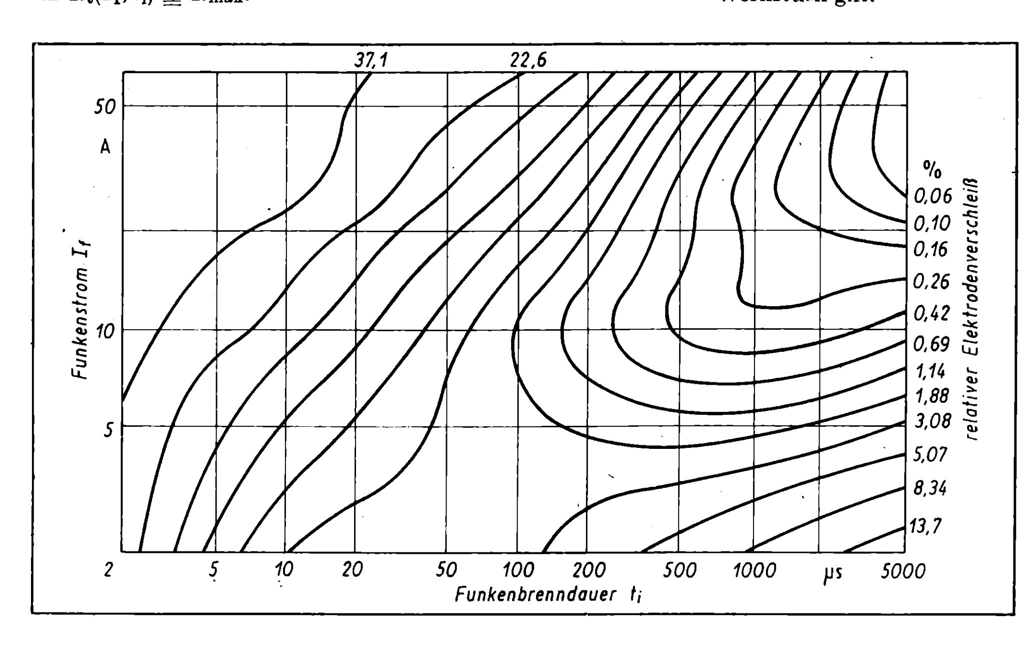
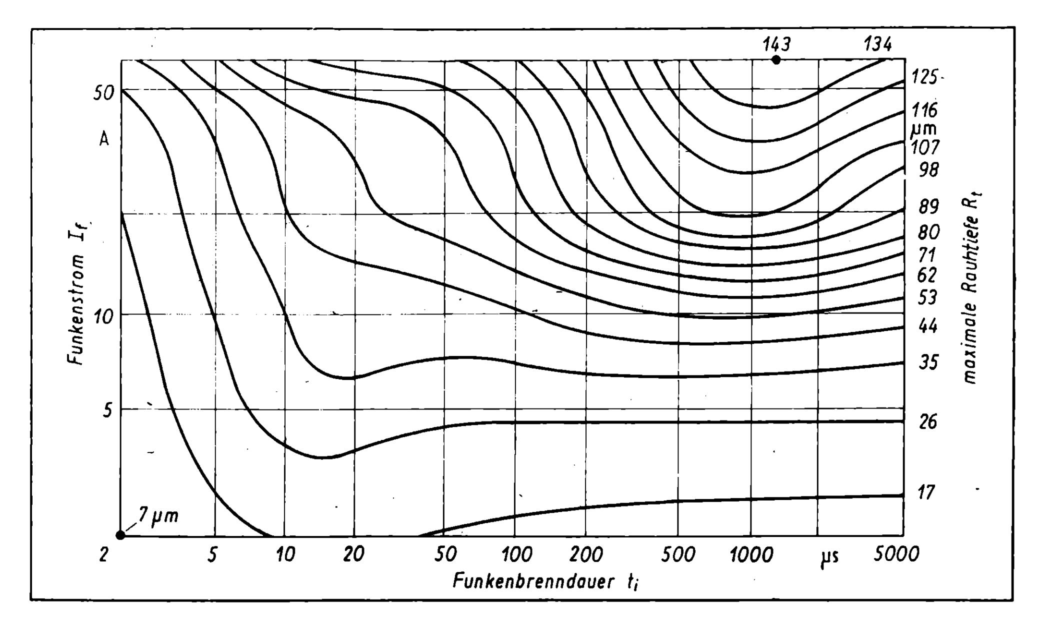


Bild 3. Abhängigkeit des relativen Werkzeugelektrodenverschleißes von Funkenstrom und Funkenbrenndauer

Bild 4. Abhängigkeit der maximalen Oberflächenrauhtiefe von Funkenstrom und Funkenbrenndauer



3. Methoden der Datenverdichtung

Die Abspeicherung der ermittelten hohen Anzahl optimaler Werte für die Parameter im Mikrorechner ist aufgrund des beschränkten Speicherplatzes sowie aus Zeit- und Kostengründen kaum möglich. Wegen der Eigenschaften der Datenfelder ist es nahezu unmöglich, durch mehrdimensionale Regressionspolynome eine Darstellung der Daten mit Hilfe weniger Koeffizienten zu erreichen. Die Randbedingungen haben meist zur Folge, daß die entstehenden Abhängigkeiten für die Optimalparameter nur stückweise differenzierbar oder stetig sind. Im folgenden sollen daher Verfahren vorgestellt werden, die zur Verringerung der Redundanz der Daten führen, ohne an einen speziellen Funktionsansatz gebunden zu sein. Gleichzeitig soll eine mikrorechnergerechte Darstellung der Daten gewährleistet werden. Bereits in [6] und [7] wurde die Anwendung von Verfahren der Datenreduktion auf Probleme der Kennlinienlinearisierung von Sensoren vorgestellt. Das Verfahren der „erweiterten Mittelwertbildung" von Datensätzen zur Reduktion von Kennlinienscharen auf eine Gruppe signifikanter Basisfunktionen gehört zu den Verfahren mit dem geringsten numerischen Aufwand. Wie in [8] dargelegt ist, läßt es sich auf Funktionen von mehr als zwei Variablen verallgemeinern. Es genügt jedoch dem Anspruch der optimalen Beschreibung, wie das im Anschluß beschriebene Verfahren, noch nicht. Zunächst soll jedoch auf das Verfahren der „erweiterten Mittelwertbildung" eingegangen werden. Es kann bereits im Bereich der automatischen Meßwerterfassung mit Mikrorechnern oder modifizierten Kleinstrechnern [9] vorteilhaft Anwendung finden.
Man geht davon aus, daß sich ein Wertefeld $y(x_i, z_j)$ durch folgenden Ansatz darstellen läßt:

$$y(x_i, z_j) = a(x_i) + b(x_i) \cdot c(z_j) + R(x_i, z_j) \tag{7}$$

$R(x_i, z_j)$ stellt den bei jeder Näherung unvermeidlichen Restfehler dar. Die Ermittlung der gesuchten Funktionen erfolgt durch einen speziellen Algorithmus. Als Gütekriterium für die durchgeführte Entwicklung wird dabei das Gaußsche Prinzip der Minimierung der Summe der Fehlerquadrate angewendet. Dadurch erhält man zunächst für die erste Funktion folgenden Ausdruck:

$$a(x_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} y(x_i, z_j); \qquad i \in [1, n]; \qquad j \in [1, m] \tag{8}$$

Die Funktion $a(x_i)$ wird also durch einfache Mittelwertbildung ermittelt. Die diskrete Funktion $b(x_i)$ wird dann so gesucht, daß

$$\sum_{j=1}^{m} [y(x_i, z_j) - a(x_i) - b(x_i) \cdot c(z_j)]^2 \to \text{Min!} \tag{9}$$

wird. Die exakte Lösung für die Funktionen $b(x_i)$ und $c(z_j)$ gemäß dem Variationsproblem (9) würde auf ein Eigenwertproblem führen. Wie jedoch die Erfahrung zeigte, führt auch die Vereinfachung

$$c(z_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \big(y(x_i, z_j) - a(x_i)\big) \tag{10}$$

meist zu Lösungen mit guter Näherung an die optimale Beschreibung nach (9). Die Beziehung (10) kann dann nicht angewendet werden, wenn dieser Ausdruck identisch Null wird. Ist die Folge der Funktionswerte $c(z_j)$ ermittelt, so lassen sich die Funktionswerte für $b(x_i)$ wie folgt darstellen:

$$b(x_i) = \frac{\sum_{j=1}^{m} [y(x_i, z_j) - a(x_i)] \cdot c(z_j)}{\sum_{j=1}^{m} c^2(z_j)}. \tag{11}$$

Aufgrund der ausschließlich verwendeten Elementaroperationen und der geringen notwendigen Software ist dieses Verfahren für die Aufbereitung von Primärdaten im Mikrorechner einer automatischen Meßwerterfassungsanlage geeignet. Wie in [8] ausgeführt, ist dieses Verfahren auch so erweiterbar, daß Basisfunktionen höherer Ordnung bestimmt werden können, so daß eine Darstellung wie in (3) möglich wird. Die erreichten Restfehler der Beschreibung sind jedoch meist 30 ... 70% höher als bei der nachfolgend beschriebenen Methode.
Stehen Datensätze auf einem Rechner höherer Leistungsfähigkeit zur Verfügung (etwa nach einer Optimierungsrechnung), sollte dieses Verfahren Anwendung finden. Man geht aus von dem Ansatz der Approximation einer Funktion zweier Variabler durch ein Produkt von Funktionen jeweils einer dieser Variabler (12).

$$y(x_i, z_j) \approx a(x_i) \cdot c(z_j); \qquad i \in [1, n]; \qquad j \in [1, m]. \tag{12}$$

Zur Bestimmung der optimalen Approximation fordert man die Minimierung der Summe der Fehlerquadrate:

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{n} [y(x_i, z_j) - a(x_i) \cdot c(z_j)]^2 \Rightarrow \text{Min!} \\ &\sum_{j=1}^{m} [y(x_i, z_j) - a(x_i) \cdot c(z_j)]^2 \Rightarrow \text{Min!} \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

Bei der Ermittlung der optimalen Basisfunktionen $a(x_i)$ und $c(z_j)$, die dem Kriterium (13) genügen, erhält man für $a(x_i)$ (oder aufgrund der Symmetrie von (13) für $c(z_j)$) das Eigenwertproblem (14). Dieses unterwirft man zweckmäßigerweise dem Lösungsalgorithmus nach *v. Mises* (2) oder einem anderen iterativen Lösungsverfahren.

$$\lambda \cdot a(x_\mu) = \sum_{i=1}^{n} \Big(a(x_i) \cdot \sum_{j=1}^{m} y(x_\mu, z_j) \cdot y(x_i, z_j)\Big). \qquad \mu = 1, \ldots, n \tag{14}$$

Hat man die Folge der Funktionswerte für $a(x_i)$, der der größte Eigenwert entspricht, ermittelt, so ergibt sich die zugehörige Basisfunktion $c(z_j)$ durch:

$$c(z_j) = \frac{\sum_{i=1}^{n} y(x_i, z_j) \cdot a(x_i)}{\sum_{i=1}^{n} a^2(x_i)}. \tag{15}$$

Durch die zyklische Anwendung des Ansatzes (12) auch für den jeweils verbliebenen Beschreibungsfehler erzeugt man eine Funktionsreihe, mit der man den Datensatz $y(x_i, z_j)$ beliebig genau rekonstruieren kann. Es sei noch bemerkt, daß in [8] nachgewie-

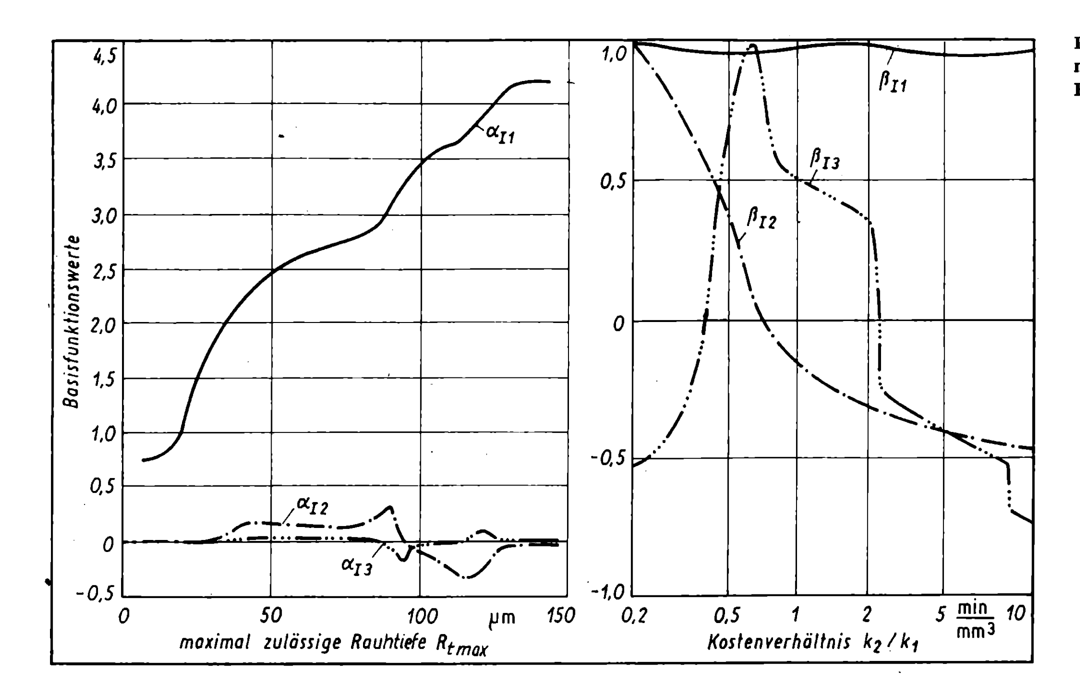


Bild 5. Verlauf der Basisfunktionen nach (17) für den optimalen Funkenstrom

sen wurde, daß der Ansatz (12) für Funktionen beliebig vieler Variabler modifizierbar ist. Dabei wird der Lösungsalgorithmus nicht wesentlich komplizierter. Problematisch wird jedoch dann die Erstellung eines repräsentativen Datensatzes.

Liegen die Folgen der Basisfunktionswerte vor, kann man eine weitere Verringerung der notwendigen Daten erreichen, indem man spezielle Formen der Approximation der Basisfunktionen anwendet [6]. Zweckmäßigerweise geht man von einer Polygonapproximation aus. Der günstigste Abstand für die Stützstellen des Polygonzuges läßt sich nach [6] leicht ermitteln. Dabei geht man von einer stückweisen Approximation z. B. der Funktion $a(x)$ durch Geradenabschnitte aus, so daß

$$a(x) \approx d_\nu \cdot x + e_\nu \quad \text{für} \quad x \in [x_\nu, x_{\nu+1}) \,. \tag{16}$$

Bei der Wahl konstanter Stützstellenabstände läßt sich die Adressierung für das Auffinden der zum Wert x gehörigen Werte d_ν und e_ν besonders einfach gestalten, da lediglich Verschiebeoperationen erforderlich sind [10]. Bei variablen, dem Funktionsverlauf angepaßten Stützstellenabständen kann man eine weitere Verringerung der Anzahl der notwendigen Stützstellen bei gleichzeitig wesentlich aufwendigerer Software für die Adressierung erreichen. Dadurch wird diese Variante erst bei sehr großen zu speichernden Datensätzen effektiv.

4. Anwendung auf das Optimierungsproblem

Ausgegangen wird von den mit Spline-Interpolation aufgearbeiteten Primärdatensätzen, die dann nach dem im 2. Abschnitt dargestellten Kostenmodell einem Optimierungsalgorithmus unterworfen werden. Da sehr große Parameterbereiche in Betracht gezogen werden müssen und die Minimierung der relativen Fehler wesentlich ist, wurde eine logarithmische Darstellung gewählt. Die Felder optimaler Bearbeitungsparameter (6), bestehend aus je 2500 Werten für den gesamten interessierenden Parameterbereich, wurden rekursiv mit dem in den Beziehungen (12) ... (15) beschriebenen Verfahren bearbeitet. Da die Parameterdarstellung logarithmisch erfolgte, ergeben sich für die optimalen Parameter die Beziehungen:

$$\left.\begin{aligned} I_{f\,\mathrm{opt}} &= \exp\left(\sum_{\mu=1}^{k} \alpha_{\mathrm{I}\mu}(R_{\max}) \cdot \beta_{\mathrm{I}\mu}\left(\frac{K_2}{K_1}\right)\right) \\ t_{i\,\mathrm{opt}} &= \exp\left(\sum_{\mu=1}^{k} \alpha_{\mathrm{I}\mu}(R_{\max}) \cdot \beta_{t\mu}\left(\frac{K_2}{K_1}\right)\right) \end{aligned}\right\} . \tag{17}$$

Eine Darstellung wie in (3) ist möglich, wenn von der logarithmischen Darstellung abgegangen wird. Dies erschien jedoch für den Beitrag wegen der schlechten grafischen Darstellbarkeit der Ergebnisse als unzweckmäßig. Eine Minimierung des relativen Fehlers wird für die Darstellung nach (3) erreicht, indem in der Bedingung (13) eine Wichtungsfunktion für die Bewertung des Fehlers eingeführt wird [8].

Bei Aufgaben der technologischen Vorbereitung, wie sie hier jedoch nur zu Beginn einer oder zwischen zwei Bearbeitungsstufen zu bearbeiten sind, ist die Darstellung nach (17) relativ unpro-

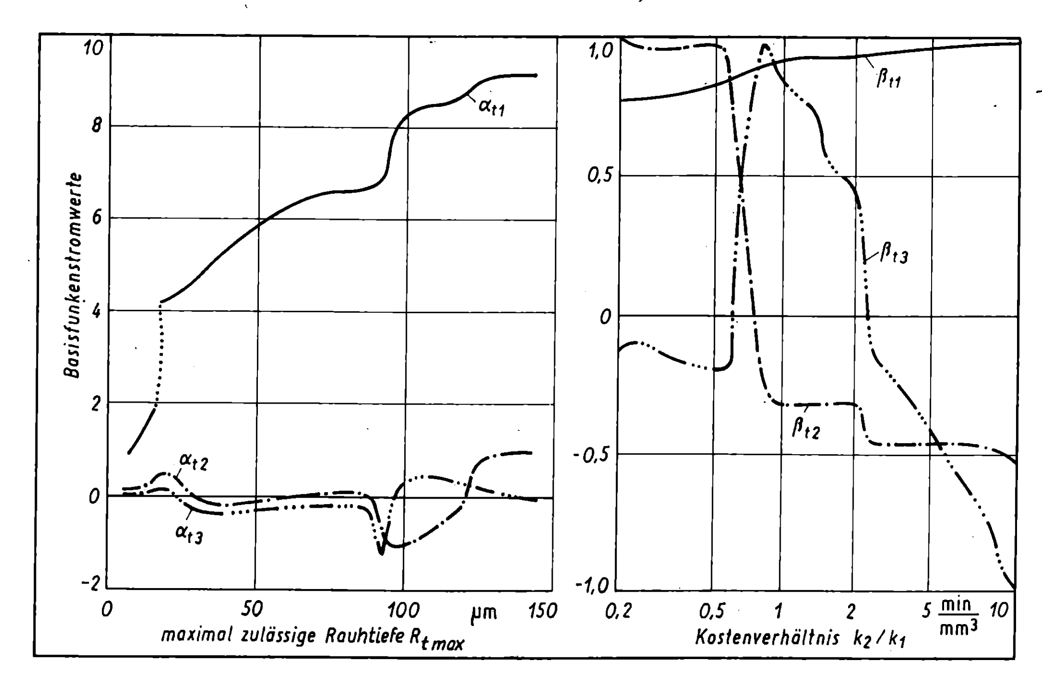


Bild 6. Verlauf der Basisfunktionen nach (17) für die optimale Funkenbrenndauer

blematisch auf dem Mikrorechner einer CNC realisierbar, denn die Taylor-Reihe der e-Funktion gehört zu denen mit der größten Konvergenzgeschwindigkeit. Die Ergebnisse der Datenreduktion sind in den Bildern 5 und 6 zusammengefaßt. Wie eine Analyse ergibt, werden für die Rekonstruktion der Optimalwerte für den Funkenstrom (Bild 5) nur zwei Basisfunktionspaare benötigt, um einen mittleren relativen Beschreibungsfehler von 3% zu erreichen. Für die optimale Funkenbrenndauer $t_{i\,opt}$ sind 3 Basisfunktionspaare notwendig (Bild 6), da ein erheblich größerer Parameterbereich für die Optimalwerte relevant ist. Legt man die Polygondarstellung (16) zugrunde, so werden für die Abspeicherung aller Stützwerte 240 Stützstellen benötigt. Durch das jeweils verwendete Datenformat für die Zahlendarstellung im Mikrorechner ergibt sich der jeweilige Speicherbedarf.

Zusammenfassung

Es wurden Methoden zur Datenreduktion unterschiedlicher Leistungsfähigkeit mit dem Ziel vorgestellt, die für die Ermittlung optimaler Arbeitswerte einer Maschine notwendige Anzahl von Daten zu verringern. Die Wirkung der Verfahren wurde am Beispiel des elektroerosiven Senkens demonstriert. Mit Hilfe eines Systems von Unterprogrammen, das von der Primärdatenaufbereitung über die Entwicklung der Datensätze nach Basisfunktionen, die Ermittlung der optimalen Stützstellen für die Polygonapproximation bis zur grafischen Darstellung der Ergebnisse mittels Plotter in FORTRAN reicht, wird eine effektive Aufarbeitung technologischer Daten ermöglicht. Da die vorgestellten Algorithmen erweiterbar auf kompliziertere Probleme und unabhängig vom Fertigungsverfahren sind, erscheint eine Anwendung zur speziellen Aufbereitung technologischer Daten für die Spannungsoptimierung [11] möglich. Damit würde die Erarbeitung eines dezentralen, maschinenbezogenen Schnittwertspeichers zur effektiven Archivierung optimaler Arbeitswerte direkt in der Werkzeugmaschine realisierbar.

Literatur

[1] *Bauer, G.:* Ein adaptiv strukturiertes Meßsystem zur on-line-Korrektur der Übertragungscharakteristik von Meßfühlern. Dissertation, Universität Dortmund 1980.

[2] *Kiesewetter, H.; Maess, G.:* Elementare Methoden der numerischen Mathematik. Berlin: Akademie-Verlag 1974.

[3] *Lazarenko, B. R.; Zolotych, B. N.:* Problemy električeskoj obrabotki materialov (Probleme der elektrischen Materialbearbeitung). Moskau: Verlag der Akademie der Wissenschaften der UdSSR 1962.

[4] *Ulrich, W.:* Mathematische Statistik in der Abtragtechnik. Diplomarbeit. TH Magdeburg 1983.

[5] *Schacke, D.:* ED-Senkmodell. Diplomarbeit. TH Magdeburg 1982.

[6] *Zacharias, M.:* Meßdatenvorverarbeitung-Möglichkeiten und Beispiele. Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Magdeburg 1/2 (1983).

[7] *Zacharias, M.:* Meßdatenreduktion mit Mikrorechner. 2. Leistungsbericht. TH Magdeburg 1982.

[8] *Zacharias, M.:* Meßdatenreduktion mit Mikrorechner. 3. Leistungsbericht. TH Magdeburg 1983.

[9] *Schulze, H. P.:* Peripherieanschlußsteuerung für K1002/K1003. Nutzerdokumentation. TH Magdeburg 1982.

[10] *Holub, H.:* Mikrorechnergestützte Methode zur Kalibrierung und Nachkalibrierung von Meßfühlern. Dissertation. TH Magdeburg 1982.

[11] *Jacobs, H. J.:* Spannungsoptimierung. Berlin: VEB Verlag Technik 1977.

msr 7941

J. Lachmann; D. Schäfer; H.-J. Spangenberg[1])

Bestimmung von Temperaturprofilen im Karbidofen[2])

0. Einleitung

Zur Parametrisierung von mathematischen Methoden des Hochtemperaturprozesses im Innern von Karbidöfen und zur Beurteilung des Arbeitsverhaltens und von Störungen solcher Öfen ist die Kenntnis der Temperaturen im Innern des Möllers, von der Oberfläche bis in das Elektrodengebiet, von wesentlicher Bedeutung. Im folgenden wird eine Meßmethode zur Bestimmung vertikaler Temperaturprofile für geschlossene Karbidöfen beschrieben.

1. Angewandte Meßmethode

Da die physikalischen Eigenschaften des in den Karbidofen eingebrachten Möllers stark schwanken, sind berührungslose Temperaturmeßverfahren nicht erfolgversprechend. Man ist deshalb vornehmlich auf Sondenmeßverfahren angewiesen.
Aus diesem Grund wurde eine Meßsonde zur Temperaturmessung in der Vorwärmzone eines Karbidofens (geschlossener Rundofen) entwickelt. Sie besteht aus einem einseitig geschlossenen Rohr, das mit seiner verschlossenen Seite in den Möller eingebracht und dessen Bodentemperatur, die nach Ausbildung des thermodynamischen Gleichgewichts gleich der des umgebenden Möllers ist, pyrometrisch gemessen wird.
Das Material, aus dem dieses Rohr besteht, muß neben einer ausreichenden mechanischen Festigkeit und einem hohen Schmelzpunkt auch eine genügende Korrosionsfestigkeit gegenüber dem Möller (Koks und gebrannter Kalk) und der Ofenatmosphäre (hauptsächlich CO und N_2) haben. Wie entsprechende Versuche zeigten, erweist sich Kohle bzw. Graphit als

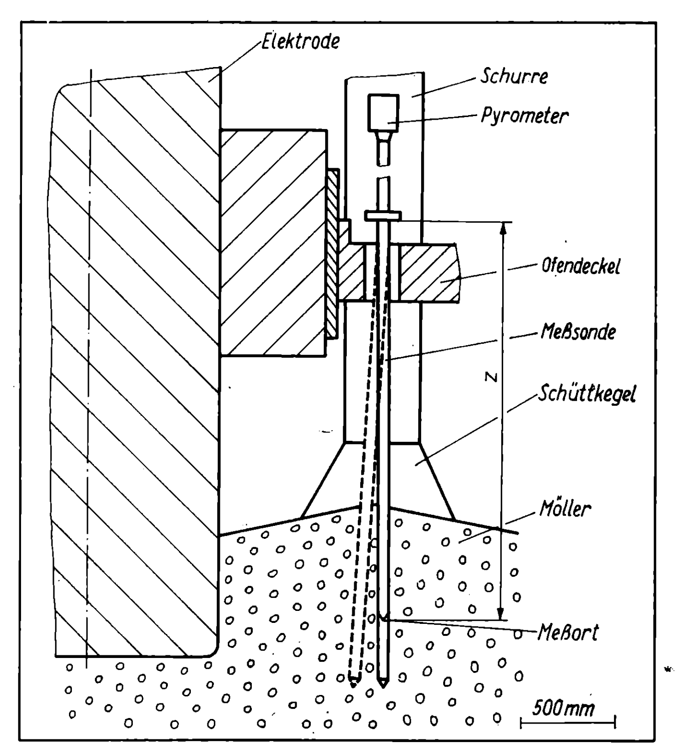


Bild 1. Geschlossener (Rund-) Karbidofen mit eingefahrener Temperaturmeßsonde

geeignetes Material, das auch bei 1840 °C noch nicht nennenswert mit diesen Stoffen reagiert.
Die Temperatur des Sondenbodens wird mit Hilfe eines zu diesem Zweck entwickelten elektronischen Teilstrahlungspyrometers gemessen. Das hat gegenüber einer Temperaturmessung mit kommerziellen Thermoelementen den Vorteil, daß der Meßbereich nicht auf $T \leqq 1600$ °C beschränkt ist und daß Schwierigkeiten, die sich durch magnetische Einstreuungen durch den Hauptstromkreis des Ofens bei der Messung der Thermospannung ergeben, umgangen werden. Bei der Anwendung der Pyrometrie müssen die bei $T > 1400$ °C im Sondenrohr auftretenden Dämpfe durch einen dauernden Gasstrom (N_2) entfernt werden. Eine Umrechnung der vom Pyrometer gemessenen schwarzen

---

[1]) Dr. rer. nat. *Joachim Lachmann* (47) studierte von 1953 bis 1960 Physik an der Humboldt-Universität zu Berlin. Seit 1960 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentralinstitut für Physikalische Chemie der Akademie der Wissenschaften der DDR. 1966 Promotion über die ioneninduzierte Elektronenemission aus stickstoffbedeckten Wolfram-Oberflächen.

Dr.-Ing. *Dieter Schäfer* (47) studierte nach erfolgter Ingenieurausbildung von 1960 bis 1964 Chemie an der Karl-Marx-Universität Leipzig. Seit 1959 im VEB Stickstoffwerk (heute VEB Agrochemie) Piesteritz tätig. Seit 1969 Leiter der dortigen Karbid-Abteilung. 1972 bis 1973 postgraduales Studium der chemischen Verfahrenstechnik an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg. 1979 Promotion A über die mathematische Modellierung des Kalziumkarbid-Prozesses.

Prof. Dr. rer. nat. habil. *Hans-Joachim Spangenberg* (51) studierte von 1951 bis 1957 an der Friedrich-Schiller-Universität Jena Physik und Physikalische Chemie. 1960 Promotion an der FSU Jena und 1968 Habilitation an der Humboldt-Universität zu Berlin. Gegenwärtig als stellvertretender Direktor des Zentralinstituts für Physikalische Chemie der Akademie der Wissenschaften der DDR tätig.

[2]) Herrn Prof. Dr. *Fritz Bernhard* zum 70. Geburtstag.

Temperatur auf die wahre Temperatur kann entfallen, da der Sondenrohrboden wie ein schwarzer Körper strahlt [1] und [2].
Im Bild 1 ist das Meßprinzip schematisch dargestellt. Die durch den Ofendeckel geführte und im Möller befindliche Sonde sinkt mit dem Möller nach und nach in immer tiefere Schichten ein, wodurch mit dem auf das Kohlerohr aufgesetzten Pyrometer die Temperatur in verschiedenen Tiefen des Möllers gemessen werden kann.

2. Beschreibung der Meßapparatur

Bild 2 zeigt die Meßapparatur im Schnitt. Das Zentrum des glühenden Bodens des (Graphit-) Sondenrohres *18* (125 mm bzw. 54 mm Durchmesser) wird mit einer Linse *8* ($f = 667$ mm) auf einen Phototransistor *4* (SP 201) abgebildet. Dieser wandelt das von einer rotierenden Lochscheibe *2* (Antriebsmotor 1) zerhackte Licht in entsprechende Spannungsimpulse (500 Hz), deren Effektivwert nach Verstärkung in einem Verstärker *5* unter Zwischenschaltung eines NF-Kabels *20* von einem abgesetzten Spannungsmesser *22* (UNI 11e) gemessen wird.
Da die vom Verstärker *5* abgegebene Meßspannung U_T proportional der Helligkeit des Bodens *18* des Sondenrohres *14* ist und diese eindeutig von der Temperatur des Bodens abhängt (Plancksche Strahlungsformel), ist die vom Gerät abgegebene Meßspannung U_T eine eindeutige Funktion der Temperatur.
Das zum Phototransistor *4* gelangende Licht passiert ein Wärmeschutzfilter *10* und ein Interferenzfilter *9* ($\lambda = 633$ nm). Während das Filter *10* eine übermäßige Aufheizung der Lochscheibe *2* und des Phototransistors *4* verhindert, bewirkt das Interferenzfilter *9*, daß die Helligkeit des Rohrbodens *18* nur bezüglich der Wellenlänge 633 nm gemessen wird. Hierdurch ist es möglich, das Pyrometer ohne das Sondenrohr 14 mit Hilfe eines Strahlungsnormals (Wolframbandlampe), dessen Helligkeit bzw. schwarze Temperatur bezüglich dieser Wellenlänge bekannt ist, zu eichen.
Das Pyrometerrohr *17* ist im Innern mit geschwärzten Blenden versehen, um unerwünschte Lichtstreuungen zu vermeiden. Die Helligkeit und damit die Temperatur des Bodens *18* des Sondenrohres *14* kann eindeutig gemessen werden, wenn dieses keine lichtabsorbierenden Dämpfe enthält. Deshalb wird das Rohr *14* mit Stickstoff (2 ... 8 m³/h) gespült, der über den Anschluß *12* eintritt und durch drei Bohrungen *15* (6 mm Durchmesser) aus dem Rohr *14* in den Möller gelangt. Eine zusätzliche Stickstoffspülung über Anschluß *11* verhindert ein Bedampfen des Wärmeschutzfilters *10*. Zur Kühlung des Optikblocks (Teile *8 ... 10*) und des Verstärkers *5* wurde der Anschlußflansch *13* des Pyrometers und das Gehäuse des Verstärkers *5* mit einer Wasserkühlung versehen. Der Verstärker *5* muß speziellen Anforderungen genügen. Wegen der z. T. geringen Lichtintensität liegt der Photostrom des Phototransistors ($\geq 10^{-9}$ A) in der Größenordnung seines Dunkelstromes. Es ist deshalb erforderlich, daß das Licht helligkeitsmoduliert (Lochscheibe *2*) und die Modulation des Photostromes (500 ... 600 Hz) verstärkt und gemessen

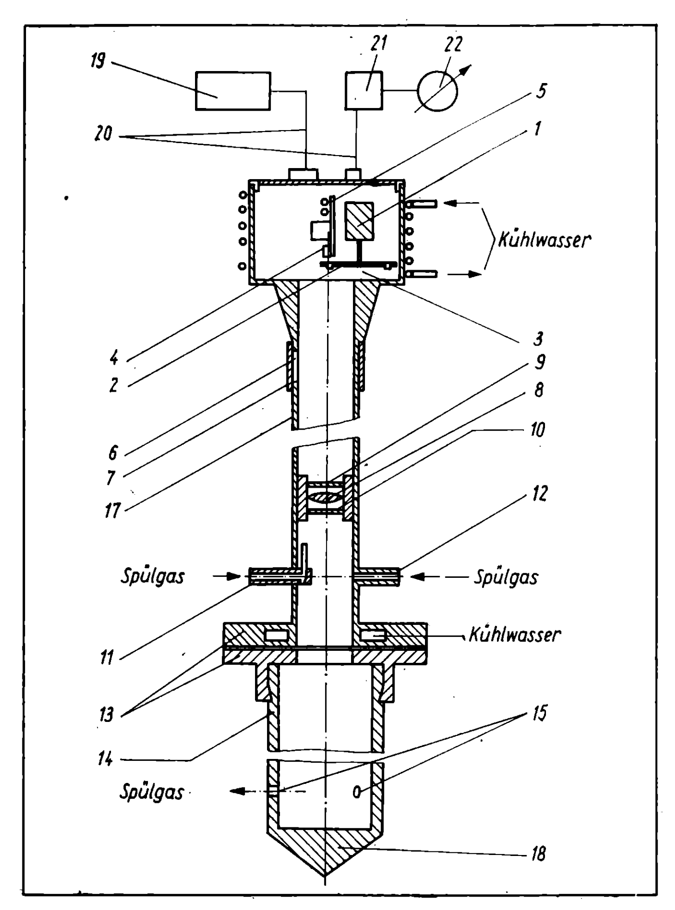


Bild 2. Temperaturmeßsonde

wird. Weil auf eine besondere Stabilisierung der Modulationsfrequenz (Motor *1*) verzichtet werden soll, muß die Verstärkung innerhalb des Bereiches 450 ... 800 Hz konstant sein. Wegen des hohen Betriebsstroms des Karbidofens ist mit magnetischen Einstreuungen der Frequenz 50 Hz und ihrer Harmonischen zu rechnen. Die Verstärkung muß deshalb unterhalb 450 Hz steil abfallen. Um das Rauschen gering zu halten, muß die Verstärkung auch oberhalb 800 Hz stark abfallen.
Bild 3 zeigt das Schaltbild des verwendeten Verstärkers. Man erkennt, daß die eigentliche Verstärkung (100fach) mit einem Präzisions-NF-Verstärker unter Verwendung des Schaltkreises B 109 bewirkt wird. Durch geeignete Dimensionierung von C_7

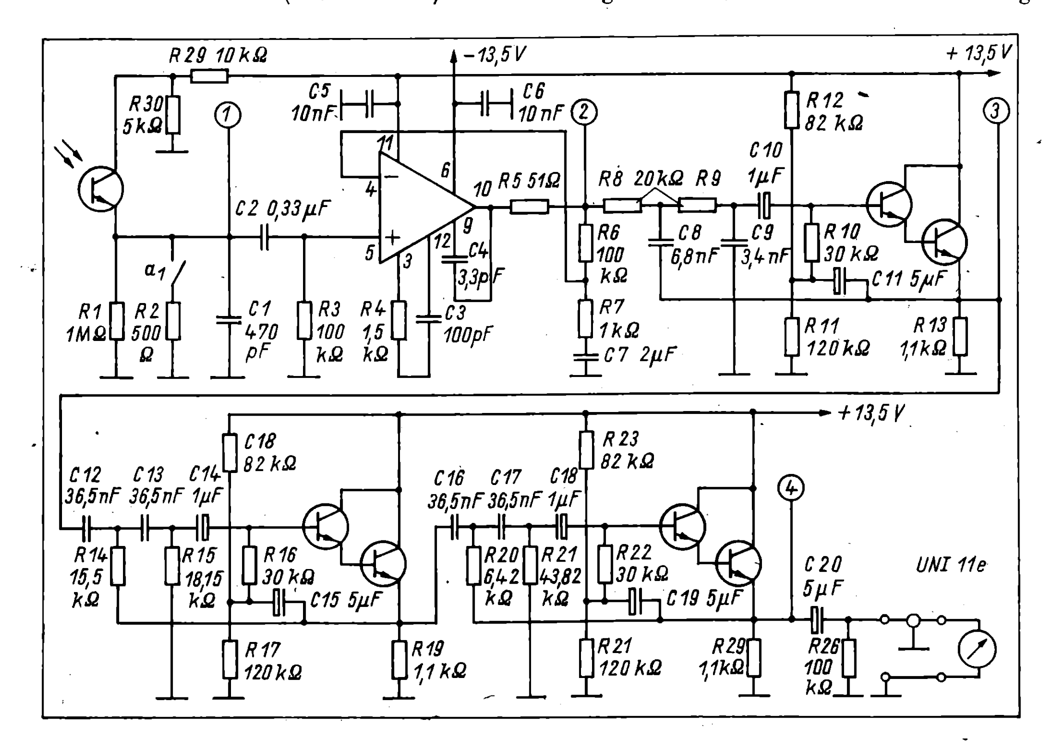


Bild 3. Meßverstärker
(Schaltkreis B 109, Phototransistor SP 201 D, Transistoren SC 207)

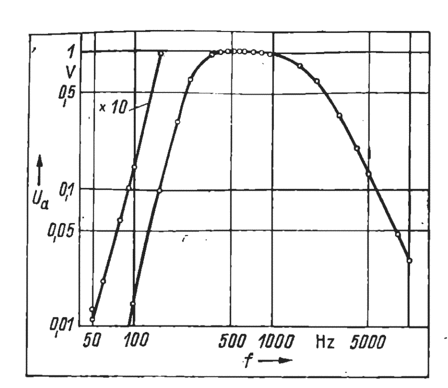


Bild 4. Durchlaßkurve des Meßverstärkers

hat der Verstärker einen Verstärkungsabfall von 6 db bei 50 Hz (gemessen zwischen *1* und *2*). Über Fernbedienung (Relaiskontakt a_1) kann der Meßbereich 1:20 umgeschaltet werden. Die geringe Bandbreite des Gesamtverstärkers wird durch Nachschalten eines aktiven Tiefpaßfilters (Butterworth-Filter 2. Ordnung, Meßpunkte *2* und *3*) und eines aktiven Hochpaßfilters (Butterworth-Filter 4. Ordnung, Meßpunkte *3* und *4*) bewirkt. Bild 4 zeigt die Durchlaßkurve des gesamten Verstärkers (zwischen Meßpunkten *1* und *4*). Man erkennt, daß bei 50 Hz eine Dämpfung von 60 dB auftritt.

Zur Verhinderung von Brummeinstreuungen aus dem Netz (Erdungspunkt) wird der Verstärker mit Batterien betrieben. Zur Unterdrückung induktiver Brummeinstreuungen aus dem Hauptstromkreis in das Kabel *20* ist es empfehlenswert, das Hochpaßfilter *21* unmittelbar vor dem Spannungsmesser *22* anzuordnen (Bild 2). Bild 5 zeigt die Meßsonde am Einsatzort.

Zur Eichung des Pyrometers wird das Kohlerohr *14* entfernt und vor der Abbildungslinse *8* unter Zwischenschaltung einer Vorsatzlinse eine Wolframbandlampe angeordnet, so daß das W-Band auf den Phototransistor *4* abgebildet wird. Da die zugeordnete schwarze Temperatur T der Bandlampe bezüglich der vom Pyrometer benutzten Wellenlänge $\lambda = 633$ nm bekannt ist, läßt sich die Meßspannung $U_T(T)$ leicht ermitteln.

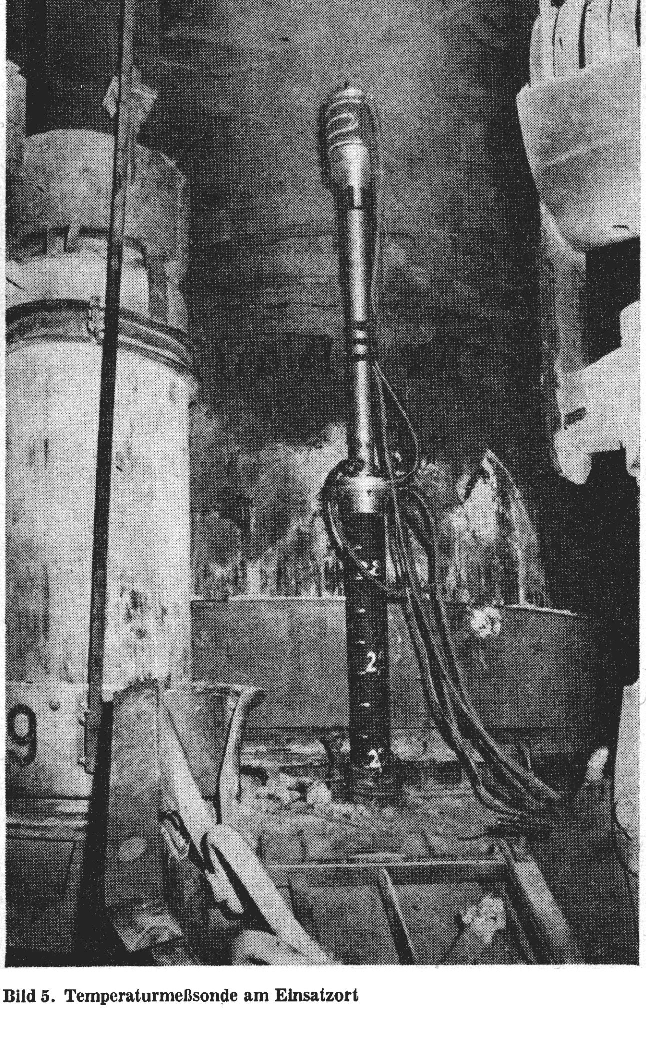


Bild 5. Temperaturmeßsonde am Einsatzort

3. Meßergebnisse und Diskussion

Bild 6 zeigt die im Möller gemessene Temperatur in Abhängigkeit vom Abstand z von der Deckeloberkante des Ofens (Bild 1) bei normalem Füllstand des Ofens (Entfernung zwischen Deckeloberkante und Mölleroberfläche $z_0 = 1{,}5$ m, Kurve *1*) und bei „heruntergebranntem" Ofen ($z_0 = 1{,}9$ m, Kurve *2*). Der Vergleich beider Kurven ergibt, daß das Temperaturprofil im Möller offenbar nur wenig vom Füllstand des Ofens z_0 abhängt. Deshalb wurde bei allen Temperaturprofilen z als Ortskoordinate gewählt. Die Sondenspitze beschreibt wegen der Querbewegung des Möllers zur Elektrode in erster Näherung eine von 0 ... 4° gegen die Senkrechte geneigte geradlinige Bahn (Bild 1). Bild 7 zeigt ein weiteres, an der gleichen Stelle ermitteltes Temperaturprofil. Es stellt den Mittelwert dreier, an verschiedenen Tagen gewonnener Temperaturprofile dar und wurde ein Vierteljahr nach der Messung von Bild 6 aufgenommen. Aus der praktischen Übereinstimmung der Meßkurven der Bilder 6 und 7 ergibt sich, daß das Temperaturprofil in der Vorwärmzone des Karbidofens offenbar zeitlich ziemlich stabil ist.

Die Meßsondenrohre konnten nach Beendigung der Messungen wieder aus dem Ofen gezogen werden. Da sie an ihrer Spitze keinerlei Beschädigungen infolge chemischer Reaktion mit dem Kalk des Möllers bzw. Berührung mit dem flüssigen Kalziumkarbid aufwiesen, kann man schließen, daß bei 1840 °C und etwa 15 cm unterhalb der Elektrodenspitze nur sehr wenig Karbid gebildet werden kann (Festkörperreaktion) und daß auch dort noch kein flüssiges (in tieferen Schichten gebildetes) Karbid vorhanden ist. Dieser Befund entspricht auch den Aussagen des mathematischen Ofenmodells nach [3] und [4].

Eine weiterreichende Diskussion der Temperaturprofile anhand eines mathematischen Ofenmodells soll in einer späteren Arbeit erfolgen.

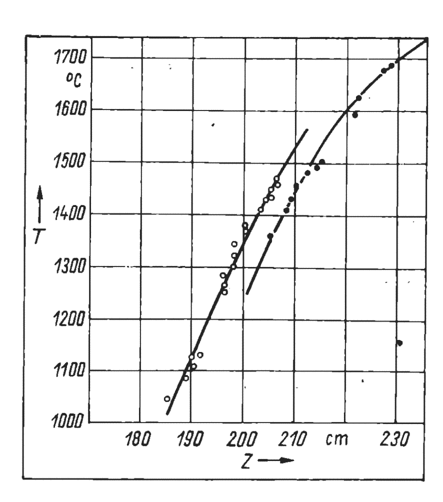


Bild 6. Vertikales Temperaturprofil bei variiertem Füllstand des Ofens

Kurve *1*: $z_0 = 1{,}5$ m; Kurve *2*: $z_0 = 1{,}9$ m (z_0 Abstand zwischen Mölleroberfläche und Deckeloberkante)

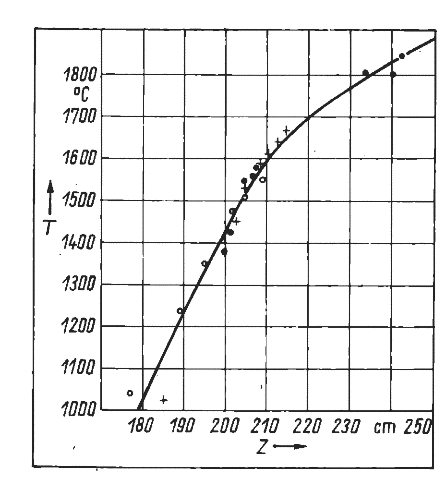


Bild 7. Mittleres vertikales Temperaturprofil im Möller des Karbidofens

Zusammenfassung

Es wird ein Meßgerät beschrieben, mit dessen Hilfe das Temperaturprofil im Möller von Kalziumkarbidöfen (Vorwärmzone) gemessen werden kann. Die experimentellen Ergebnisse zeigen eine gute Reproduzierbarkeit. Es konnte gezeigt werden, daß das vertikale Temperaturprofil in der Vorwärmzone eines geschlossenen Rundofens nur wenig vom Füllstand des Möllers abhängt. Der Wert des vertikalen Temperaturgradienten bewegt sich zwischen $20\ \mathrm{K \cdot cm^{-1}}$ (Mölleroberfläche) und $5\ \mathrm{K \cdot cm^{-1}}$ (Elektrodenspitze).

Literatur

[1] *Euler, J.; Ludwig, R.:* Arbeitsmethoden der optischen Pyrometrie. Karlsruhe: Amadis-Verlag 1960.

[2] *Lieneweg, F.:* Handbuch der technischen Temperaturmessung. Wiesbaden: Friedr. Viehweg & Sohn Verlagsgesellschaft 1976.

[3] *Budde, L.; Strauß, A.; Schmidt, B.; Schreier, M.:* Mathematische Modellierung elektrothermischer Prozesse (dargestellt am Carbidprozeß). Chem. Techn. 28 (1976) 10, S. 585–587, 30 (1978) 6, S. 287–289, 30 (1978) 12, S. 617–620, 31 (1979) 10, S. 510, 32 (1980) 4, S. 181–183.

[4] *Budde, L.; Schäfer, D.; Huth, W.; Schreier, M.; Schmidt, B.:* Einflüsse von Rohstoffeigenschaften auf die Prozeßführung der Calciumcarbidherstellung. Freiberger Forschungshefte A 667 (1983) S. 101–120. msr 8020

F. Breitenecker[1]

Lösung des linear-quadratischen Regelungsproblems in Volterra- und Riccati-Darstellung Teil II: Rechnerische Behandlung

5. Rechentechnische Anwendung der VNF und RNF

Die Darstellung des den linear-quadratischen Zustandsregler beschreibenden DGS (1.3) in VNF (3.11) oder in RNF (4.9) brachte bisher einige interessante Aspekte bezüglich einer speziellen Quotientenstruktur. Wie in Abschn. 1. bereits kurz angeschnitten, kann nun auch das VDGS (3.11) oder das DGS (4.10) der RNF (DGSP) zur Lösung der RWA (3.1) herangezogen werden, wodurch die direkte instabile Integration umgangen wird.

Die Lösung der RWA wird üblicherweise mit Hilfe des Superpositionsprinzips berechnet [5]. Dazu benötigt man linear unabhängige Lösungen des DGS (1.3). Ist die direkte Integration tatsächlich sehr instabil, so kann man versuchen, statt des DGS (1.3) seine VNF (3.11) zu integrieren. Als erste Möglichkeit bietet sich die Integration des der reduzierten VNF entsprechenden VDGS an. Von den DG in (3.11) sind also die $2n$ DG für Zustands- und Kozustandsgrößen $\boldsymbol{x}_i$, $\boldsymbol{p}_i$ und die $2n \cdot (2n-1)$ DG für die echten Quotienten x_{ij}, p_{ij} $(i \neq j)$ zu integrieren. Diese Methode, der „direkte Volterra-Algorithmus", liefert allerdings schlechtere Resultate als die direkte Integration, denn mit jeder eventuell stabilen DG für einen Quotienten

$$Fv_{ij} = \sigma_j - \sigma_i$$

(Notation nach allgemeiner Beschreibung in Summenform (3.8)) wird auch eine dann sicher instabile DG für den reziproken Quotienten v_{ji} gelöst, da ja gilt

$$Fv_{ji} = \sigma_i - \sigma_j = -(\sigma_j - \sigma_i) = -Fv_{ij}\,. \tag{5.1}$$

Naheliegend ist es nun, nur den jeweils stabilen Quotienten v_{ij} zu berechnen und den reziproken in den anderen DG durch den Kehrwert zu ersetzen. Im eindimensionalen Fall (3.1) bedeutet diese Vorgangsweise die Ersetzung des VDGS (3.4) durch

$$\left.\begin{aligned} &\dot{x} = x(a - cx_1)\,, \qquad \dot{p} = p(-q/x_1 - a) \\ &\dot{x}_1 = c_1^2 - 2ax_1 + q \end{aligned}\right\} \tag{5.2}$$

bzw. durch

$$\left.\begin{aligned} &\dot{x} = x(a - c/p_1)\,, \qquad \dot{p} = p(-qp_1 - a) \\ &\dot{p}_1 = qp_1^2 + 2ap_1 - c\,. \end{aligned}\right\} \tag{5.3}$$

Für Dimension n bedeutet dies, daß statt $2n(2n-1)$ DG für Quotienten nur $n(2n-l)$ DG gelöst werden müssen. Wird z. B. x_{ji}, $i, j < n$ ersetzt durch x_{ij}, so erhält man

$$\begin{aligned} \dot{x}_{ij} = {} & -a_{ij}x_{ij}^2 + (a_{jj} - a_{ii})\,x_{ij} + a_{ji} + \\ & + \sum_{l=1,\, l\neq i,\, l\neq j}^{n} (a_{jl}x_{jl} - a_{il}x_{il}) + \sum_{l=1}^{n} (-c_{jl}x_{j,n+1} + c_{il}x_{i,n+1})\,. \end{aligned} \tag{5.4}$$

In den übrigen Gleichungen von (3.11) ist außerdem x_{ji} durch $1/x_{ij}$ zu ersetzen. Ersichtlich ist, daß das Stabilitätsverhalten der DG (5.4) für x_{ij} in erster Näherung vom linearen Anteil $(a_{jj} - a_{ii})$ abhängt, der entsprechende Teil der DG für x_{ji} wäre $(a_{ii} - a_{jj})$, was, wie schon aus (5.1) ersichtlich, konträres Stabilitätsverhalten bedeutet. Besonders kraß wirkt sich diese Tatsache bei reziproken Quotienten aus Zustand/Kozustand x_{ik}, $k = n + i$ und p_{ii} aus:

$$\left.\begin{aligned} &\dot{x}_{ik} = c_{ii}x_i^2 - 2a_{ii}x_{ik} - q_{ii} + f_x(x_{il}, p_{il})\,, \\ &\dot{p}_{ii} = q_{ii}p_{ii}^2 + 2a_{ii}p_{ii} - c_{ii} + f_p(x_{il}, p_{il})\,. \end{aligned}\right\} \tag{5.5}$$

Die Funktionen f_x und f_p stehen für die gemischt-quadratischen Glieder analog zu (5.4).

Entsprechend dieser Vorgangsweise wählt man die darzustellenden Quotienten, indem man aus den Koeffizienten des linearen Anteils, den Differenzen der Hauptdiagonalglieder von $\boldsymbol{A}$ und /oder $-\boldsymbol{A}^T$ die geeigneten negativen auswählt. Übrig bleiben nun $n(2n-l)$ DG für Quotienten und $2n$ DG für Zustände und Kozustände; diese DG haben nicht mehr Volterra-Form, sie sind inhomogen und enthalten Bruchterme (z. B. $1/x_{ij}$). Der mit dieser Vorgangsweise erzeugte Algorithmus „reduzierter Volterra-Algorithmus" kann bereits den gegenüber der direkten Integration von (1.3) durch zusätzliche Integration von $n(2n-l)$ DG vermehrten Aufwand durch einen kleineren globalen Fehler wettmachen.

Die Quotientenstruktur erlaubt eine weitere Reduzierung der Anzahl von zu integrierenden DG. Betrachtet man nämlich zunächst den eindimensionalen Fall (5.2) bzw. (5.3), so stellt man fest, daß entweder die DG für x oder jene für p unnötig ist. Kennt man nämlich $x_1(p_1)$ und $p(x)$, so berechnet sich $x(p)$ aus $x = px_1$ $(p = xp_1)$. Die Entscheidung, die DG für $x(p)$ zu integrieren, wird durch den negativen linearen Koeffizienten $-a$ $(+a)$ getroffen (die DG für $x_1(p_1)$ wurde jener für $p_1(x_1)$) wegen der Posivität von a (Negativität von a), die der Negativität des linearen Teiles der zugehörigen Quotienten-DG $-2a$ $(2a)$ entspricht, vorgezogen.

Im mehrdimensionalen Fall bedeutet dies, daß statt der $2n$ DG für x_i und p_i in (3.11) nur n DG gelöst werden müssen; die DG für x_i und p_i lauten umformuliert:

$$\left.\begin{aligned} &\dot{x}_i = a_{ii} \cdot x_i - c_{ii}x_{i,i+n} + f_x(x_{il})\,, \\ &\dot{p}_i = -a_{ii} \cdot p_i - q_{ii}p_ip_{ii} + f_p(p_{il})\,, \end{aligned}\right\} \tag{5.6}$$

wobei f_x und f_p wieder die „gemischt-nichtlinearen" Teile bedeuten (f_x bzw. f_p enthalten durchaus auch Terme $1/x_{kl}$, $1/p_{mn}$, die die nichtberechneten Quotienten x_{lk}, p_{nm} ersetzen). Daraus folgt nun, daß wiederum die Positivität oder Negativität von a_{ii} entscheiden kann, ob die DG für x_i oder jene für p_i in (5.6) gelöst wird; der zugehörige Kozustand p_i bzw. Zustand x_i errechnet sich dann aus $p_i = x_{i,i+n}x_i$ bzw. $x_i = p_{ii}p_i$. In speziellen Fällen kann diese Entscheidung allerdings auch von c_{ii} bzw. q_{ii} bedingt werden (z. B. falls $x_{ii} \gg a_{ii}$). Dieser dritte Algorithmus, „Vereinfachter Volterra-Algorithmus" (VVA), umgeht nochmals n Integrationen durch einfache Multiplikation; es ist zu erwarten, daß er genauere Ergebnisse als der reduzierte Volterra-Algorithmus liefert. Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Algorithmen VA, RVA und VVA in bezug auf ihre Stabilität in erster Näherung von den Hauptdiagonalelementen von $\boldsymbol{A}$ abhängen, während die Instabilität der direkten Integration von allen Elementen von $\boldsymbol{A}$ (und $-\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{Q}$, $\boldsymbol{C}$) begründet wird. Da die Algorithmen RVA (teilweise) und VVA (vollständig) die Elimination positiver Linearteilkoeffizienten erlauben, können sie trotz der größeren Anzahl von DG genauer arbeiten als die direkte Integration. Bild 5 zeigt die Arbeitsweise der Volterra-Algorithmen.

[1] Teil I erschien im Heft 3/1984.

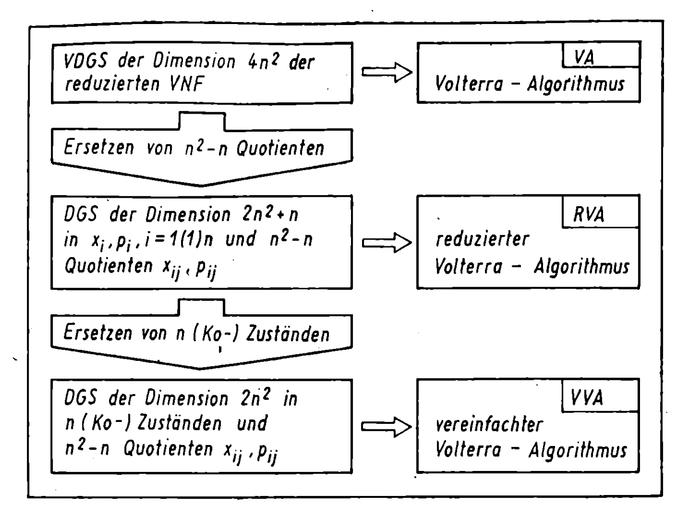


Bild 5. Ableitung der Volterra-Algorithmen

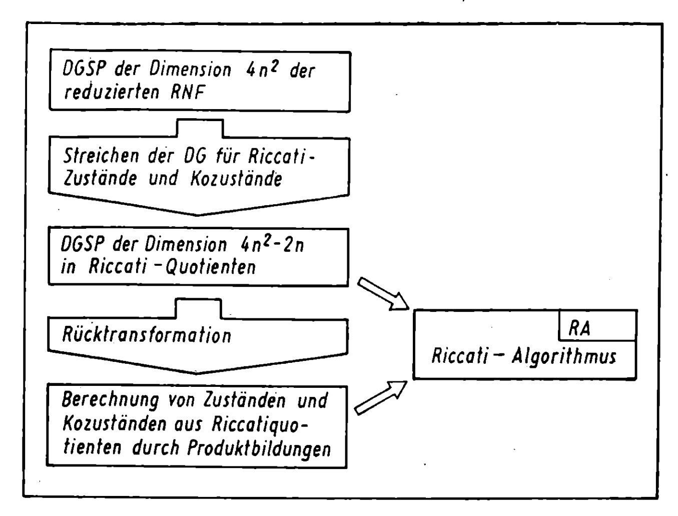


Bild 6. Ableitung der Riccati-Algorithmen

Die berechenbare Form (4.9) der RNF leitet einen Algorithmus anderen Aufbaues ab. Die Art der Transformation (4.4) und (4.6) bedingt, daß keine der DG (4.9c) für die „Riccati"-Quotienten gestrichen bzw. ersetzt werden können. Allerdings hängen sie nicht mehr von den Hauptdiagonalelementen von $\boldsymbol{A}$ ab. Die Rücktransformation (4.10a) und (4.10b) erlaubt es allerdings, auf die Integration der DG für die „Riccati"-(Ko-) Zustandssignale zu verzichten.
Zustand und Kozustand können parallel zur Integration der Riccati-Quotienten nach (4.9c) aus (4.10) errechnet werden; erst die Formeln (4.10) fügen multiplikativ die teilweise Instabilität begründenden Exponentialfunktionen in die Lösung ein. Dieser Algorithmus, der „Riccati-Algorithmus", besteht daher aus der Integration von $2n \cdot (2n - l)$ DG für die Riccati-Quotienten und der multiplikativen Berechnung der Zustände und Kozustände. Seine Vorteile bestehen in der Auskopplung der Exponentialterme $\exp(a_{ii}t)$ aus der zu lösenden DG (Bild 6).

6. Zusammenhang mit dem Einbettungsalgorithmus

In [3] wird ein Einbettungsalgorithmus zur Lösung des instabilen DGS (1.3) angegeben. Statt des linearen DGS werden nichtlineare DGS integriert, deren wichtigstes Teilsystem eine Matrix-Riccati-DG (MRDG) ist. Diese lautet:

$$\dot{\boldsymbol{W}}^T = \boldsymbol{A}\boldsymbol{W} + \boldsymbol{W}\boldsymbol{A}^T + \boldsymbol{W}\boldsymbol{Q}\boldsymbol{W} - \boldsymbol{C} \tag{6.1}$$

bzw.

$$\dot{\overline{\boldsymbol{W}}} = -\boldsymbol{A}^T\overline{\boldsymbol{W}} - \overline{\boldsymbol{W}}\boldsymbol{A} + \overline{\boldsymbol{W}}\boldsymbol{C}\overline{\boldsymbol{W}} - \boldsymbol{Q}\,. \tag{6.2}$$

Im eindimensionalen Fall ist die MRDG (6.1) ((6.2)) dieselbe DG wie die DG (5.2) für den Quotienten x_1 ((5.3) für p_1)). Für Dimension n erkennt man aus der elementweisen Form von (6.1) ((6.2)), daß rein-quadratische, lineare und inhomogene Anteile von (6.2) und (5.5a) ((6.3) und (5.5b)) ident sind. Grob gesprochen, entsprechen die Elemente der symmetrischen Matrix $\boldsymbol{W}$ den Quotienten x_{ij}, die von $\overline{\boldsymbol{W}}$ den Quotienten $p_{i,n+j}$.
Ein weiteres DGS des Einbettungsalgorithmus ist

$$\dot{\boldsymbol{G}} = (\boldsymbol{A} + \boldsymbol{W}\boldsymbol{Q})\,\boldsymbol{G} \quad \text{bzw.} \quad \dot{\overline{\boldsymbol{G}}} = (-\boldsymbol{A}^T + \boldsymbol{C}\overline{\boldsymbol{W}})\,\overline{\boldsymbol{G}}\,.$$

Unschwer kann eine Identität zu den DG für x bzw. p in (5.2) bzw. (5.3) für $n = 1$ erkannt werden. Für Dimension n entspricht die Hauptdiagonale von $\boldsymbol{G}(\overline{\boldsymbol{G}})$ den Zuständen $\boldsymbol{x}_i$ (den Kozuständen $\boldsymbol{p}_i$) bezüglich der linearen Anteile von (5.2) ((5.3)). Die Entscheidung zwischen (6.1) und (6.2) (siehe [13]) wird in [2] und [3] ähnlich wie in Abschn. 5. auf die Eigenschaften der Matrix $\boldsymbol{A}$ zurückgeführt.
Ein weiterer struktureller Zusammenhang besteht in der Anzahl der zu integrierenden DG. Der Einbettungsalgorithmus erfordert die Integration von $n(2n + l)$ DG, also ebensovielen wie beim RVA.

7. Beispiel

Ein eindimensionales Beispiel soll die verschiedenen Normalformen und Algorithmen demonstrieren.
Die formale VNF des DGS (3.1) und damit des linear-quadratischen eindimensionalen Zustandsreglers lautet in expliziter Summenform

$$\left.\begin{aligned}
&Fx = ax_{11} - cx_{12}\,, \qquad Fp = -qp_{11} - ap_{12}\\
&Fx_{11} = 0\,, \qquad Fp_{12} = 0\\
&Fx_{12} = -ax_{11} + cx_{12} - qp_{11} - ap_{12}\\
&Fp_{11} = ax_{11} - cx_{12} + qp_{11} + ap_{12}\,.
\end{aligned}\right\} \tag{7.1}$$

Die VNF entsteht aus (7.1) durch Streichen der DG $Fp_{12} = (Fx_{11} = 0)$ und Ersetzen von $p_{12}(x_{11})$ in (7.1) durch $x_{11}(p_{12})$. Die reduzierte VNF ersetzt $x_{11}(p_{12})$ durch die explizite Lösung 1 und lautet daher

$$\left.\begin{aligned}
&Fx = a - cx_{12}\,, \qquad Fp = -qp_{11} - a\,,\\
&Fx_{12} = -2a + cx_{12} - qp_{11}\,, \qquad Fp_{11} = 2a - cx_{12} + qp_{11}
\end{aligned}\right\}. \tag{7.2}$$

Davon ausgehend können nun die Algorithmen abgeleitet werden. Die vier DG von (7.2) formulieren bereits den Algorithmus VA.
Der Algorithmus RVA hat zwei Varianten:

$$\left.\begin{aligned}
\text{a)}\ &\dot{x}_1 = x_1(a - cx_{12})\,, \qquad \dot{p}_1 = p_1(-q/x_{12} - a)\\
&\dot{x}_{12} = cx_{12}^2 - 2ax_{12} + q
\end{aligned}\right\} \tag{7.3a}$$

$$\left.\begin{aligned}
\text{b)}\ &\dot{x}_1 = x_1(a - c/p_{11})\,, \qquad \dot{p}_1 = p_1(-qp_{11} - a)\\
&\dot{p}_{11} = qp_{11}^2 + 2ap_{11} - c\,.
\end{aligned}\right\} \tag{7.3b}$$

Eine weitere Vereinfachung und „stabilere" Berechnung bietet der Algorithmus VVA mit vier Varianten

$$\text{a)}\ \dot{x}_1 = x_1(a - cx_{12})\,, \qquad p_1 = x_{12} \cdot x_1\,, \qquad x_{12} \text{ wie (7.3a)} \tag{7.4a}$$

$$\text{b)}\ \dot{p}_1 = p_1(-q/x_{12} - a)\,, \qquad x_1 = p_1/x_{12}\,, \qquad x_{12} \text{ wie (7.3a)} \tag{7.4b}$$

$$\text{c)}\ \dot{x}_1 = x_1(a - c/p_{11})\,, \qquad p_1 = x_1/p_{11}\,, \qquad p_{11} \text{ wie (7.3b)} \tag{7.4c}$$

$$\text{d)}\ \dot{p}_1 = p_1(-qp_{11} - a)\,, \qquad x_1 = p_{11} \cdot p_1\,, \qquad p_{11} \text{ wie (7.3b)}\,. \tag{7.4d}$$

Die formale RNF entsteht durch Transformation von (7.1) mit einer Riccati-DG und lautet

$$\left.\begin{aligned}
&\dot{z}_1 = z_1 z_{12} z_{11}^a\,, \qquad \dot{d}_1 = d_1 d_{11} d_{12}^{-a}\\
&\dot{z}_{11} = z_{11}\,, \qquad \dot{d}_{12} = d_{12}\\
&\dot{z}_{12} = -cd_{11} z_{11}^{-a} d_{12}^{-a}\,, \qquad \dot{d}_{11} = -qz_{12} z_{11}^a d_{12}^{-a}\,.
\end{aligned}\right\} \tag{7.5}$$

Daraus gewinnt man die RNF durch Streichen und Ersetzen von z_{11} oder d_{12}; für die reduzierte RNF ist dann die Lösung für $z_{11}(d_{12})$ explizit einzusetzen:

$$\dot{z}_1 = z_1 z_{12} \exp(at)\,, \qquad \dot{d}_1 = d_1 d_{11} \exp(-at)\,, \tag{7.6a}$$

$$\dot{z}_{12} = -cd_{11} \exp(-2at)\,, \qquad \dot{d}_{11} = -qz_{12} \exp(2at)\,. \tag{7.6b}$$

Der RA besteht nun im Lösen der DG für z_{12} und d_{11} und in einer Multiplikation zur Berechnung von Zustand und Kozustand:

$$z_{12},\ d_{11} \text{ wie (7.6b)}$$

$$x_1 = z_{12} \exp(at)\,, \qquad p_1 = d_{11} \exp(-at)\,.$$

Dieses Beispiel wurde mit den Werten $b = 1{,}2$, $q = 0{,}3$, $r = 5$, $x(0) = 1$, $p(0) = 2$ und $a = 0{,}5$ (I) bzw. $a = -0{,}5$ (II) durchgerechnet. Für den Wertsatz I waren die Algorithmen VA ((7.2)), RVA Variante (7.3b), VVA Varianten (7.4a) und (7.4b) und RA erfolgreich. Bild 7 zeigt die Lösungen x und p; Bild 8 beinhaltet den Fehlerverlauf der Algorithmen, der als absoluter Fehler zwischen numerisch berechneter Lösung und der analytischen Lösung berechnet wurde; F bezeichnet die Fehlerfunktion, der Index (VA, RA, ...) den Algorithmus (DI steht für direkte Integration von (1.3)).

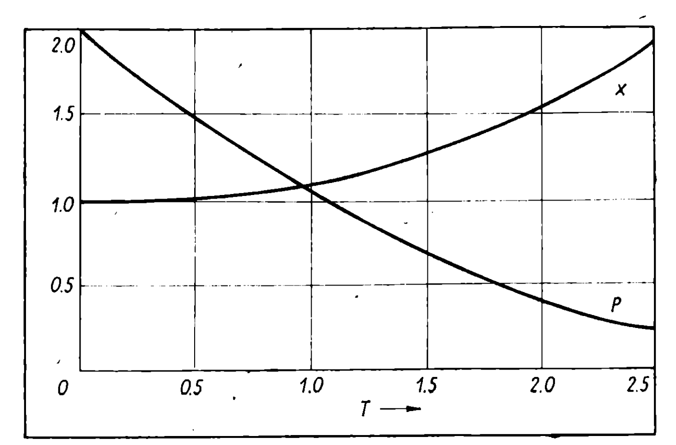


Bild 7. Lösungen, Wertesatz I

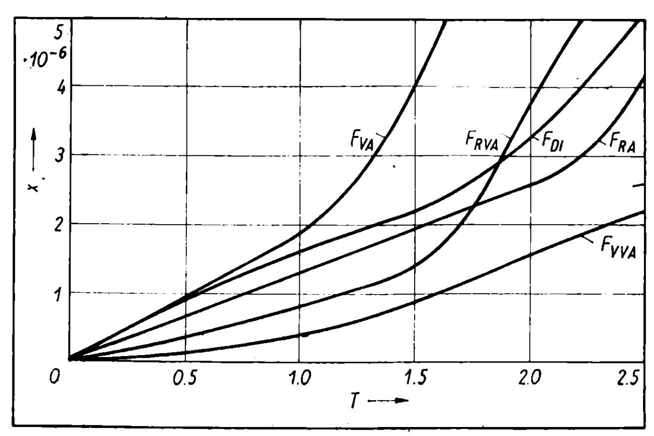


Bild 8. Fehlerfunktionen, Wertesatz I

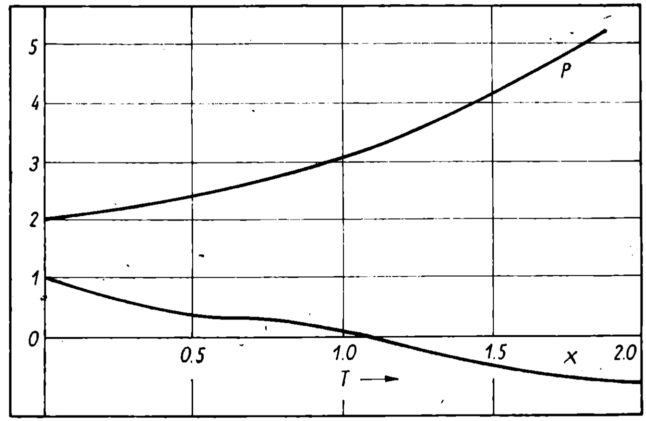


Bild 9. Lösungen, Wertesatz II

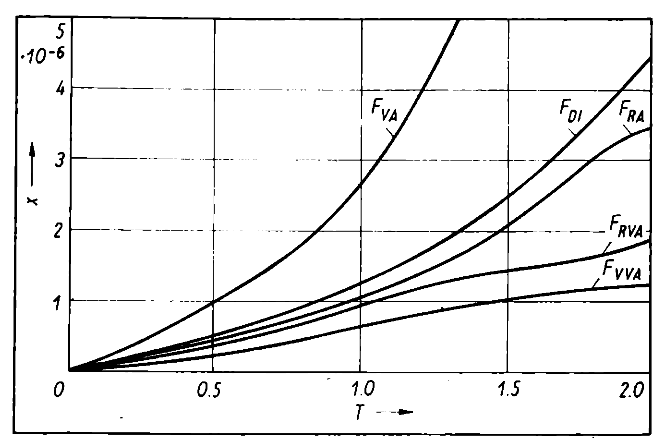


Bild 10. Fehlerfunktionen, Wertesatz II

Erwartungsgemäß waren beim Wertsatz II wegen des geänderten Vorzeichens von a neben den Algorithmen VA und RA die Variante (7.3a) von RVA und die Varianten (7.4c) und (7.4d) von VVA zielführend. Bild 9 zeigt wiederum die Lösungen, Bild 10 die Fehlerfunktionen. Generell arbeitet VA schlechter als DI; eine geeignete Variante von RVA ergibt einen kleineren Fehler als DI; Anwendung einer Variante von VVA verkleinert den Fehler; der Algorithmus RA arbeitet wenig besser als DI.

Anhang: Regularisierung

Eine Voraussetzung für die Ableitung der VNF ist die Positivität der Zustands- und Kozustandsgrößen; die vom Strukturentwurf erzeugten „Hilfssignale" stellen sich als Quotienten aus Zuständen und/oder Kozuständen heraus, so daß ein zweites Mal die Forderung nach Positivität auftaucht.
Um dieser Voraussetzung gerecht zu werden, kann man bei der (numerischen) Lösung mit einem der Algorithmen die Anfangswerte für x_i und p_i positiv wählen. In einer Umgebung des Anfangszeitpunktes t_0 sind daher x_i und p_i positiv; da x_i und p_i einem linearen DGS gehorchen, kann diese Umgebung beliebig ausgedehnt werden, indem man die Anfangswerte für x_i und p_i entsprechend vergrößert [5].
Der Theorie nach können daher immer Anfangswerte (Vektoren) $x(t_0)$ und $p(t_0)$ gefunden werden, die nur positive Lösungen erzeugen; nimmt man nun n linear unabhängige Anfangsvektoren mit dieser Eigenschaft (existieren immer!), so ist eine Basis des Lösungsraumes erzeugt. In der Praxis müßte man allerdings oft mit zu großen Anfangswerten starten, die eine numerische Lösung unmöglich machen.
Eine Möglichkeit ist, Positivität nur für n Größen (Zustände oder Kozustände) zu fordern und nur jene $n(2n - l)$ Quotienten x_{ij}, p_{ij} zu berechnen, deren Nenner eine dieser positiven Größen ist. Damit kann zwar nur mehr der Algorithmus VVA verwendet werden; andererseits ist er aber jener Algorithmus mit dem „günstigsten" Stabilitätsverhalten (die Lösung des Beispiels mit Wertesatz II nützt diese Tatsache beim Algorithmus VVA, für die anderen Algorithmen wurde regularisiert).
Eine generelle Methode zur Verhinderung negativer Zustände und Kozustände ist die Regularisierung mit Translation $\tilde{\boldsymbol{v}} = \boldsymbol{v} + \tilde{\boldsymbol{e}}$, woraus aus (3.4) ein inhomogenes lineares DGS entsteht ($\boldsymbol{e} = -\boldsymbol{S}\tilde{\boldsymbol{e}}$):

$$\dot{\tilde{\boldsymbol{v}}} = \boldsymbol{S}\tilde{\boldsymbol{v}} + \boldsymbol{e}\,. \qquad \text{(A.1)}$$

Unterwirft man $\tilde{v}_i$ dem LDGO, so entsteht zusätzlich zu den Quotienten die Größe $\tilde{v}_{i,N+1} = 1/\tilde{v}_i$ als Hilfssignal. Der LDGO baut sie ab zu

$$F\tilde{v}_{i,N+1} = -\tilde{v}_{i,N+1} \cdot \tilde{v}_i = -F\tilde{v}_i\,.$$

Damit erweitert sich (3.7) zu

$$\left.\begin{aligned} F\tilde{v}_i &= \sum_{l=1}^{N} s_{il}\tilde{v}_{il} - e_i\tilde{v}_{i,N+1} \\ F\tilde{v}_{ij} &= \sum_{l=1}^{N} (s_{jl}\tilde{v}_{jl} - s_{il}\tilde{v}_{il}) + e_j\tilde{v}_{j,N+1} - e_i\tilde{v}_{i,N+1} \\ F\tilde{v}_{i,N+1} &= -\sum_{l=1}^{n} s_{il}\tilde{v}_{il} + e_i\tilde{v}_{j,N+1}\,. \end{aligned}\right\} \qquad \text{(A.2)}$$

Die aus (A.2) analog zu (3.7) bzw. (3.11) ableitbaren Algorithmen enthalten weitere N Differentialgleichungen. Die Parameter $\boldsymbol{e}_i$ können „on-line", also während der Berechnung der Lösung mit einem der Algorithmen, so gewählt werden, daß kein Quotient eine Polstelle hat.

Literatur

[1] *Breitenecker, F.:* On the Solution of Linear Boundary Value Problems by Extended Invariant Imbedding. Computing 28 (1982), S. 333–343.
[2] *Breitenecker, F.:* Zur Lösung des linear-quadratischen Optimal-Control Problems. msr, Berlin 25 (1982) 9, S. 485–489.
[3] *Breitenecker, F.:* On the Solution of the Linear-Quadratic Output Regulator Problem by Extended Invariant Imbedding. Optimal Control-Application and Methode (OCAM), New York 4 (1983) 2, S. 129–139.
[4] *Bryson, A. E.; Ho, Y.:* Applied Optimal Control. Waltham/Mass.: Ginn & Company 1969.
[5] *Knobloch, H.; Kappel, F.:* Gewöhnliche Differentialgleichungen. Stuttgart: B. G. Teubner 1974.
[6] *Peschel, M.; Mende, W.:* Strukturentwurf für instationäre und nichtlineare Systeme. msr, Berlin 24 (1981) 10, S. 581–583.
[7] *Peschel, M.; Mende, W.:* Probleme der mathematischen Modellierung von Evolutionsprozessen. msr, Berlin 24 (1981) 11, S. 602–606.
[8] *Peschel, M.; Mende, W.; Grauer, M.:* An Ecological Approach to System Analysis based on Volterra Equations. Collaborative Paper IIASA; CP-82-20 (1982).
[9] *Peschel, M.; Mende, W.:* Identifikation von Triebkraftmodellen vom Potenzprodukttyp. msr, Berlin 25 (1982) 5, S. 255–257.
[10] *Peschel, M.; Mende, W.:* Volterra-Modelle für nichtlineare und instationäre Systeme und deren Äquivalenztransformation. msr, Berlin 25 (1982) 10, S. 102–104.
[11] *Peschel, M.; Mende, W.:* Leben wir in einer Volterra-Welt? — Ein ökonomischer Zugang zur angewandten Systemanalyse. Berlin: Akademie-Verlag 1983.
[12] *Pontrjagin, L. S.; Boltjanskij, V. G.; Gamkrelidze, R. V.; Mischenko, E. F.:* Theorie Optimaler Prozesse. München: R. Oldenburg Verlag 1964.
[13] *Reid, W. T.:* Riccati Differential Equations. New York: Academic Press 1972.

msr 7844

Industrierobotersteuerungen 18

Mit den aufgezählten Sprachelementen läßt sich die IR-Programmierung in der gleichen Form wie die Rechnerprogrammierung in einer höheren Sprache durchführen. Die Zuordnung der höheren Manipulatorsprache zum Objektniveau des Programmiersystems ist darin begründet, daß z. B. durch AFFIX und UNFIX Objektrelationen ausgedrückt werden können und durch die Zuordnung von FRAME's zu Objekten und die Wahl eines geeigneten Objektnamens die Programmierung in bezug auf Objekte durchgeführt werden kann.
Die Sprachumsetzung durch einen Compiler, die off-line zur eigentlichen Steuerung ausgeführt wird, kann außerdem so gestaltet werden, daß ein Zugriff auf ein Umweltmodell (Objektbeschreibungen, CAD/CAM-Datein u. ä.) möglich ist. Höhere Manipulatorsprachen mit einem ausgebauten Umweltmodell und einem technologischen Wissensspeicher zeigen bereits Merkmale der Aufgabenebene des Programmiersystems, in der sehr problemnah z. B. die Formulierung eines technologischen Zielzustandes ausreicht, um automatisch ein Programm zu erstellen. Diese Sprachmöglichkeiten sind jedoch noch sehr weit von einer praktischen Realisierung entfernt. Es wird deshalb hier nicht weiter darauf eingegangen.

3.3. Bedienung von Industrierobotern

Zur Programmierung ist eine Kommunikation mit dem IR erforderlich. Das Programmiersystem „versteht" die vom Bediener formulierten Anweisungen und reagiert durch entsprechende Aktionen und Anzeigen über deren Ausführung. Diese vom konkreten IR-System abhängige Form der Mensch-Maschine-Kommunikation heißt Bedienung und erfolgt über ein Bediengerät und zusätzliche technische Hilfsmittel zur Durchführung des Teach-in-Prozesses. Eine detaillierte Beschreibung ist in der zu jeder IR-Steuerung gehörenden Bedienungsanleitung zu finden. Der Bedienungsablauf läßt sich in mehrere Schritte zerlegen. Nach Vorbereitungsarbeiten und grundlegenden technologischen Überlegungen liegt im allgemeinen ein detaillierter technologischer Ablaufplan vor, der in einen entsprechenden Programmablaufplan umgesetzt wird. Das Programm wird in die Steuerung eingebracht und steht nach einer Testphase für den Dauerbetrieb bereit.
Die Bedienelemente erlauben die Einstellung der Betriebsbereitschaft (Hauptschalter, Sicherungssystem u. a.) und die Auswahl von Programmfunktionen, Betriebsarten u. a. Das Bediengerät ist so gestaltet, daß der Bediener in übersichtlicher Form über den Systemzustand informiert ist. Bei der Bedienung über ein Terminal (Bildschirm und Tastatur) werden Funktionen durch Kommandos ausgewählt und der Zustand als Text angezeigt (z. B. Kommando STATUS liefert die Position der einzelnen Achsen). Bei einfachen Systemen erfolgt die Zustandsanzeige durch Anzeigelampen.
Die Betriebsarten lassen sich in der Regel durch einen Wahlschalter am Bedienpult bzw. am Steuerschrank einstellen. Bei der Bedienung von Teach-in-Systemen lassen sich die folgenden Betriebsarten unterscheiden:

- Handsteuerung ist z. B. erforderlich bei Havariesituationen, wenn der IR aus Konfliktsituationen herausgefahren werden muß. Der Bediener entscheidet vollständig über den Bewegungsablauf
- Das Einrichten bzw. synchronisieren ist zu Beginn der Arbeiten mit dem IR erforderlich, um das interne Lagesensorsystem auf definierte Werte zu setzen. Bei einigen IR ist dafür eine Ruheposition vorhanden, deren Werte intern bekannt sind. Bei Anwendung von Sensorsystemen ist als weitere Einrichterfunktion die Kalibrierung der beteiligten Koordinatensysteme erforderlich
- Die Programmerstellung ist auf das Programmierverfahren abgestimmt. Teach-in-Systeme arbeiten interaktiv: der Bediener stellt die gewünschten Positionen ein und betätigt Funktionstasten bzw. gibt Kommandos zur Speicherung der Positionen ein. Bei textuellen Systemen wird der Programmtext mit einem Editor erfaßt und läßt sich leicht verändern. Die Speicherung des Programms erfolgt entweder im internen Speicher des Steuerrechners oder auf einem externen Speichermedium (Floppy-Disk, Magnetbandkassette). Spezielle Kommandos gestatten eine Verwaltung der erstellten Programme (Archivieren, Löschen, Laden u. ä.)
- Zur Programmtestung besteht meistens die Möglichkeit der schrittweisen Abarbeitung des Programms bei verminderter Geschwindigkeit (Schrittautomatik) und zum Start bei einer bestimmten Programmzeile (Satzsuchlauf). Fortgeschrittene Systeme (textuelle Verfahren) bieten ein Simulations- und Testsystem an, mit dem ein Programmtest ohne Einschalten des IR möglich ist. Solche Simulationssysteme erfordern jedoch erhöhte Rechnerkapazität gegenüber der eigentlichen Steuerungsaufgabe. Sie sind daher künftigen Systemen mit direktem Rechnerverbund vorbehalten
- Im Automatikbetrieb erfolgt die zyklische Abarbeitung eines getesteten Programms. Zur Programmunterbrechung ist ein leicht zugänglicher STOP-Schalter (NOT-AUS) vorhanden, der das Gesamtsystem außer Betrieb setzt. Die gezielte Unterbrechung des laufenden Programms ist außerdem durch Einstellen einer Zykluszahl, Anfragen an den Bediener oder weitere Unterbrechungstasten (z. B. Abbruch bei Schrittende, bei Programmende o. ä.) möglich.

Weitere Bedienfunktionen sind in den Bedienungsanleitungen der IR-Steuerung zu finden. Vor Inbetriebnahme des IR sollten die Anleitungen unbedingt aufmerksam gelesen werden. Bei der IR-Bedienung treten häufig Situationen auf, in denen durch zu hohe Geschwindigkeiten oder falsche Bedienung sowohl der Bediener als auch der technische Prozeß gefährdet sind.

Dr. rer. nat. *J. Hübener*, AdW der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, IT Berlin

Literatur

[3.1] *Spur, G.* (Hrsg.): Industrieroboter. München: Carl Hanser Verlag 1979.
[3.2] *Blume, C.; Dillmann, R.:* Frei programmierbare Manipulatoren — Aufbau und Programmierung von Industrierobotern—. Würzburg: Vogel-Verlag 1981.
[3.3] Programmieranleitung ZIM 60/ZIM 10. VEB Zentraler Ingenieurbetrieb der Metallurgie, Berlin 1982.
[3.4] User's Guide to VAL, a Robot Programming and Control System. Danbury, Conn. (USA): Unimation, Inc. 1980.
[3.5] Bedienungsanleitung IRS 600. VEB NUMERIK Karl-Marx, Karl-Marx-Stadt 1981.
[3.6] *Mujtaba, S.; Goldman, R.:* AL User's Manual. Stanford (USA) 1979.

4. Eine einfache IR-Sprache aus der VR Bulgarien

4.1. Einleitung

In der Robotertechnik sind heute zwei Entwicklungsrichtungen zu beobachten.
Die erste wird durch Organisationen und Entwickler vertreten, die ganze Fertigungssysteme mit dem Industrieroboter als Systemkomponente herstellen. Im Angebot befinden sich immer anspruchsvollere Konzeptionen, bei denen der Roboter mit anderen hochentwickelten Systemen, wie Nachführ- und Regelsystemen, optischen und anderen Sensorsystemen (z. B. bei der vollautomatischen Montage) tätig ist. Sehr gut entwickelte Offline-Programmiersprachen sind ein wichtiger Bestandteil. Typisches Beispiel dafür ist die Sprache AML (A Manufacturing Language) der Firma IBM [1], in der die Steuerung des Roboters eine von vielen Funktionen ist, wobei sie auch Aufgaben der Schnittstellenrealisierung und der Datenverarbeitung übernimmt. Die anwenderfreundliche, PASCAL-ähnliche Sprache RAIL (Robot Automation Inc. Language) [1], die Schnittstellen für Kameras hat, kann Bilderkennungssysteme ansprechen und bei der visuellen Erkennung Objektmerkmale feststellen.
Bei der zweiten Richtung stehen der Roboter selbst und besonders seine einfache und möglichst leicht erlernbare Programmierung im Vordergrund. Im Unterschied zu den meist an Universitäten und wissenschaftlichen Instituten entwickelten IR-Sprachen werden manche elegante Formulierungen und eine breite Problemabdeckung nicht oder nur teilweise realisiert. Der höhere Wirkungsgrad wird auch durch die Eingliederung von

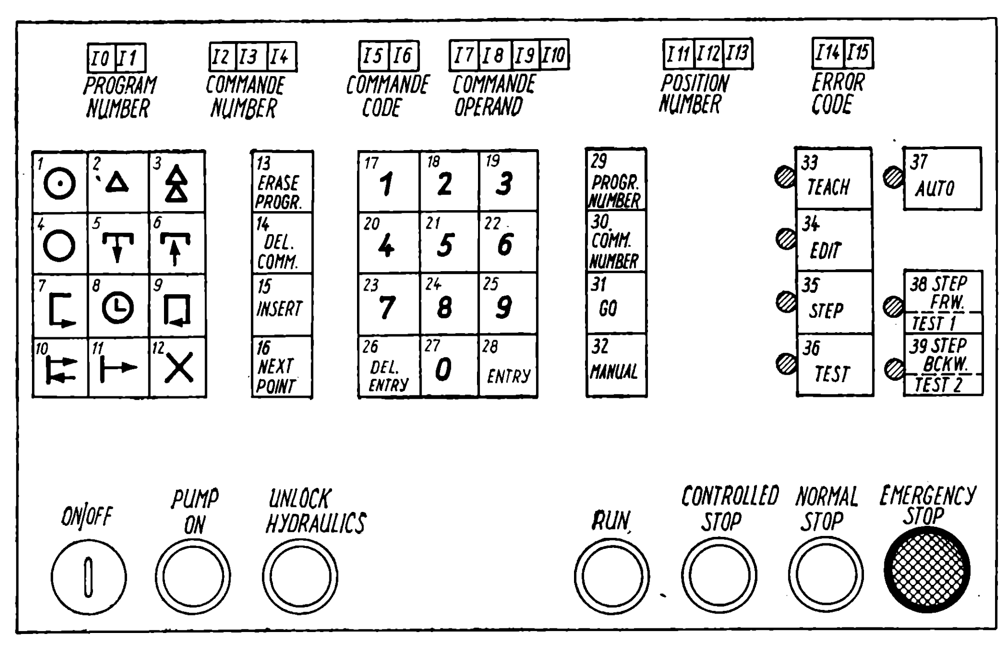


Bild 4.1. Rechteck-Palette (das Grundgitter ist rechteckförmig)

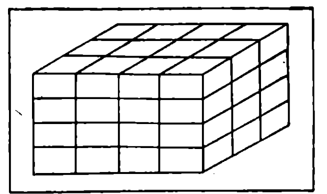


Bild 4.3. Zylinder-Palette

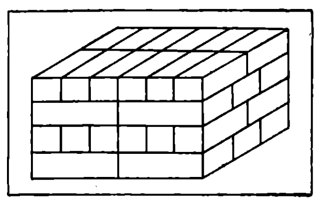


Bild 4.4. Zylinder-Palette

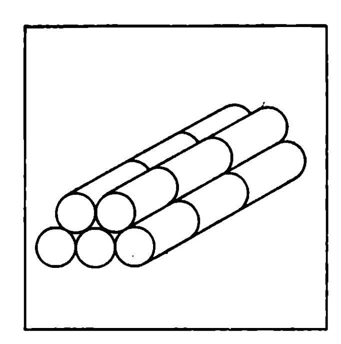


Bild 4.5. Sektor-Palette (das Grundgitter entspricht einem Kreissegment)

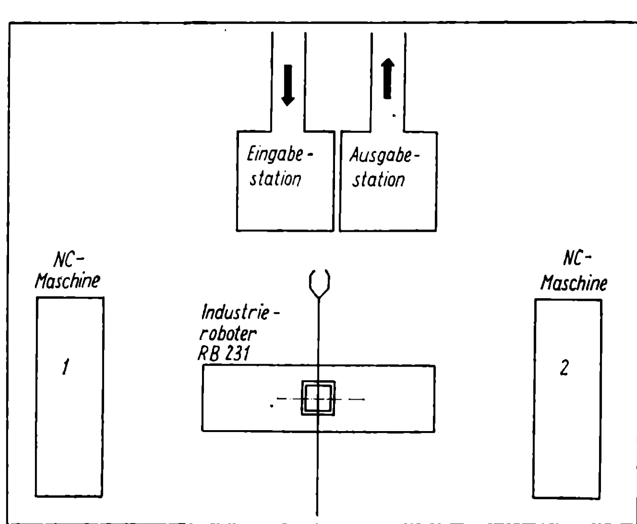


Bild 4.2. Schachbrett-Palette (jede zweite Schicht ist um 90° gedreht)

fertigungsspezifischen Befehlen erreicht. Bei PLAW (Programming Language for Arc Welding) [1] sind das Einstellen der Schweißparameter und die Drehung im „Handgelenk" (um die Stellung des Lichtbogens zu verändern) als Sprachelemente realisiert. Typisches Beispiel problemorientierter Konzipierung von IR-Steuerungen mit der dazugehörigen Software bietet eine schon lange existierende Palette für die Automatisierung von Handhabungs- und Transportoperationen an. Mit solchen Steuerungen arbeiten meistens Programmierer oder Maschineneinrichter, die bisher keine oder nur geringe Kenntnisse über Rechner, Programmiersysteme und Programmiersprachen besitzen. Nachfolgend wird eine für die IR-Steuerung PC 501 entwickelte Sprache beschrieben, die in die zweite der genannten Richtungen einzuordnen ist.

4.2. *Entwicklungsforderungen für die IR-Steuerung PC 501*

Die bulgarische Industrierobotersteuerung PC 501 steuert bis zu sieben hydraulisch getriebene Achsen eines Industrieroboters der Typenreihe RB 230 (Beroe, Stara Sagora). In der PTP-Betriebsart werden alle Achsen simultan verfahren, wobei die äußerst einfache Hardware ein Resultat der optimalen Ausnutzung der Möglichkeiten der bulgarischen 8-bit-Mikroprozessorfamilie CM600 und bewährter Softwaretechniken [2] ist. Eine hardwareunterstützte Realisierung der Servoebene gibt die Möglichkeit, den Mikroprozessor für die Sollwertgenerierung der Achsen einzusetzen. Die Wegmeßsysteme arbeiten absolut auf der Basis von einem A/D-Wandler. Als Steuerung für Handhabe- und Transportoperationen hat die PC 501 folgende Forderungen zu erfüllen:

- einfache Bedienbarkeit durch relativ gering qualifiziertes Personal
- Beschreibungsmöglichkeiten für die Aufgaben in den Begriffen der physikalischen Aufgabenstellung, d. h. Raumpunkte und Raumpunktrelationen
- Arbeit in roboterspezifischen Koordinaten, Beschreibung von Raumbewegungen und zugleich eine Synchronisation mit der IR-Umwelt
- einfache Beschreibung von verzweigten Algorithmen und ihre Verbindung zu einer Reihe von Anwenderprogrammen zwecks Ausführung komplizierter technologischer Operationen
- Gewährleistung hoher Programmierungsdisziplin durch geeignete Ausdrucksmittel der Programmiersprache
- Bedienung und Programmierung bei geringem ökonomischen Realisierungsaufwand.

4.3. *Funktionsmöglichkeiten der IR-Sprache PC 501*

Als Grundlage für die Entwicklung der IR-Sprache für PC 501 wurde „Eine Sprache zur On-line-Beschreibung von Prozessen" (ESOP) [2] verwendet. Die Kommandos werden interpretativ abgearbeitet. Bei der Eingabe erfolgt eine syntaktische Prüfung. Die Einteilung der Umweltanweisungen in solche zur Überprüfung von Bedingungen und solche zur Signalausgabe wurde vorgenommen, da nach einer Zustandsüberprüfung nicht nur Signale ausgegeben werden können, sondern auch Bewegungen des Industrieroboters auszuführen sind. Durch die Anwendung eines einzigen Kommandos für die bedingte Anweisung wird die Verzweigungsmöglichkeit im wesentlichen nicht eingeschränkt, da auch Unterprogrammaufrufe überlesen werden können. Programme und Unterprogramme sind syntaktisch äquivalent; dabei können Unterprogramme auch autonom ausgeführt werden. Da IR-Anwenderprogramme fast immer einen zyklischen Charakter haben, ist die Anweisung NEXT als Programmende und zugleich als Übergang zum nächsten Programm vorgesehen.

Funktionelle Erweiterungen sind softwaremäßig möglich. Das kann zur Erhöhung der Flexibilität und zur Vereinfachung der Programmierung führen. Die Palettierungsfunktion z. B. erlaubt das Beschicken von Paletten mit unterschiedlicher Geometrie (Bilder 4.1 bis 4.5). Die Programmierung der Palette erfolgt über Eingabe weniger Parameter. Es kann die Geometrie mit dem Palettenanfangspunkt angegeben werden. Weitere Angaben, wie Anzahl der Teile je Palettenfreiheitsgrad, Palettenneigung, Verdrehung, Informationen über Be- und Entladevorgang, sowie die Auswahl einer Einfahrstrategie sind über die Tastatur einzugeben oder werden zwangsläufig in der Steuerung intern abgeleitet. Das Anzeigen verschiedener Fehlermeldungen erlaubt eine Unterstützung im Dialogverkehr.

msr 7680 Dipl.-Ing. *P. Ararew* und Dr.-Ing. *D. Dotschew*, Bulgarische Akademie der Wissenschaften, Institut für technische Kybernetik und Robotertechnik, Sofia

(wird fortgesetzt)

Jahrestagung der WGMA 1983

Es ist bereits eine gute Tradition, die Jahrestagungen der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) als Konferenz mit thematisch gegliederten Übersichtsvorträgen durchzuführen. So wurde am 1. und 2. Dezember 1983 die Jahrestagung 1983 zu ausgewählten Problemen der Meßtechnik veranstaltet. Es standen die Gebiete

- Fehlerbetrachtung bei der digitalen Meßgrößenerfassung
- Technische Diagnostik
- Anwendung der Infrarotmeßtechnik
- Digitale Bildverarbeitung

zur Diskussion.

Der Veranstalter hatte die Möglichkeit, die Beiträge gekoppelt mit anderen Artikeln zu diesen Fachgebieten in den Zeitschriften msr 26 (1983) H. 11 und Feingerätetechnik 32 (1983) H. 11 gedruckt vorzulegen.

Die Vorträge hatten insbesondere das Ziel, zusammenfassend über den derzeitigen wissenschaftlich-technischen Stand, die Anwendungsmöglichkeiten und die zu erwartende Entwicklung auf den durch die vorgetragenen Themen gekennzeichneten Gebieten zu informieren.

In seinem Vortrag *Probleme der digitalen Meßgrößenerfassung und -verarbeitung* setzte sich *E. G. Woschni* (TH Karl-Marx-Stadt) mit der Fehlerproblematik auseinander, die sich insbesondere beim Einsatz von Mikrorechnern bei der Meßwerterfassung und anschließenden Verarbeitung ergibt. Er zeigte an Beispielen den Gültigkeitsbereich des Abtasttheorems. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß bei der digitalen Meßgrößenerfassung und -verarbeitung der Rechengeschwindigkeit eine entscheidende Rolle zukommt: Komfortablere Verarbeitungsalgorithmen mit besseren Approximationen an die idealen Programme, größere Wortlängen mit geringerem Quantisierungsgeräusch und Vermeidung von Sampling-Fehlern können durch erhöhte Rechengeschwindigkeit erkauft werden. Die ständig zunehmende Leistungsfähigkeit der Mikrorechner kommt dieser Notwendigkeit ständig näher. Die analogen Techniken werden für sehr schnell veränderliche Vorgänge vorerst aber ihre Bedeutung behalten.

H. Strickert (IHS Warnemünde) trug den mit *D. Troppens* (WPU Rostock) erarbeiteten Vortrag *Die Wechselwirkungen zwischen der technischen Diagnostik und der Automatisierungstechnik* vor. Die Autoren hatten nicht das Ziel, Definitionen der technischen Diagnostik zu versuchen, sondern legten den Schwerpunkt auf den Zusammenhang zwischen technischer Diagnostik und Automatisierung. An Beispielen aus der Schiffs- und Landtechnik wurde dieser Zusammenhang verdeutlicht. Die Tendenz, aus ökonomischen Gründen die Inspektionen nach dem Zustand der Maschinen festzulegen und nicht nur die Zeitspannen aus den Erfahrungen abzuleiten, wurde durch die Arbeiten der Autoren sichtbar.

Zum Thema *Stand und Tendenzen der Anwendung der Infrarotmeßtechnik in unterschiedlichen Nutzerebenen* trug *H. Vetter* die Arbeit des Autorenkollektivs *B. Böle* (VEB K Kali Sondershausen), *H. Friedrich* (Institut für Energetik/ZRE Leipzig), *R. Müller* (Institut für Energetik/ZRE Leipzig), *T. Röhlinger* (IS für Veterinärmedizin Beichlingen), *G. Tolivka* (IS für Veterinärmedizin Beichlingen), *H. Vetter* (TH Leipzig) vor. Durch die Darstellung vielfältiger Anwendungsfälle aus den Bereichen Medizin und Technik wurde die Bedeutung der Infrarotmeßtechnik deutlich unterstrichen.

Am 2. Tag der Jahrestagung stellte *R. Klette Stand und Tendenzen der digitalen Bildverarbeitung* (*R. Klette* und *G. Sommer* (FSU Jena)) dar. Es wurde dabei deutlich, daß der Bildaufnahmetechnik in der weiteren Entwicklung große Bedeutung beizumessen ist. Neben den CCD-Zeilenkameras werden leistungsfähige Matrixkameras notwendig, um die Bildverarbeitung mit Mikrorechnern einschließlich der Nutzung möglicher Algorithmen voll nutzen zu können. Die derzeitigen Möglichkeiten wurden an Beispielen erläutert.

Mit diesen auf der Jahrestagung dargestellten Ergebnissen, die im wesentlichen in den Fachunterausschüssen der WGMA erarbeitet wurden, gab es Anstöße zur effektiven Nutzung, die die volkswirtschaftliche Wirksamkeit der WGMA-Gremien wesentlich erhöhen werden. So ist diese Jahrestagung auch als ein erster Beitrag zur Auswertung des 8. Kongresses der KDT zu verstehen.

msr 8028 *H. Fuchs*

6. Wissenschaftlich-technische Konferenz des KEAW

Die 6. Wissenschaftlich-technische Konferenz des Kombinats VEB Elektro-Apparate-Werke „Friedrich Ebert" Berlin-Treptow (KEAW) stand 1983 unter dem Thema „Baugruppen und Geräte der Prozeßmeßtechnik". Sie fand am 3. und 4. November in Berlin statt und wurde vom Fachausschuß Automatisierungsgeräte der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der Kammer der Technik, dem Bezirksfachausschuß Mikroelektronik beim Bezirksvorstand der Kammer der Technik Berlin und dem Forschungszentrum des KEAW, dem Institut für Regelungstechnik, durchgeführt.

Ziel der Veranstaltung war es, am Beispiel neu- und weiterentwickelter Baugruppen und Geräte aus dem KEAW Ergebnisse und Tendenzen der Prozeßmeßtechnik und ihre Auswirkungen auf zukünftige Anwendungen darzustellen. Unter den fast 300 Teilnehmern aus Betrieben und wissenschaftlichen Institutionen befanden sich auch Vertreter aus dem sozialistischen Ausland.

Auf der Konferenz wurden 3 Übersichtsvorträge und 13 Fachvorträge gehalten. Im ersten Übersichtsvortrag gab *W. Richter* einen umfassenden Überblick über Stand und Perspektiven der modernen Prozeßmeßtechnik. Er legte dar, daß die Prozeßmeßtechnik gegenwärtig hinsichtlich Signalformen und Geräten noch konventionell bestimmt ist. Durch die Anwendung von Integrationstechnologien und Einchip-Mikrorechnern findet der Übergang zur 2. Generation statt. Die verzögerte Durchsetzung mikroelektronischer Technologien hat ihre Ursache in dem unmittelbaren Kontakt der Meßfühler mit der rauhen Prozeßumwelt und den damit wesentlich höheren Anforderungen an die Elektronik. In einer Übersicht stellte er die Anwendung moderner mikroelektronischer Technologien in der Meßtechnik dar. Die Verlagerung von Funktionen der Vorverarbeitung des Meßsignals und der Eigenüberwachung zum Sensor führen zu „intelligenten" Sensoren. Die Software erhält einen hohen Stellenwert. In Zukunft gewinnen für die Meßtechnik Dünnfilmtechnologie, Wandler mit Mikrorechner, Frequenzsignale, berührungslose Meßverfahren, Korrelationsverfahren, Multigrößenerfassung, Signale mit Normalfunktion und bistabile optische Elemente an Bedeutung.

U. Bahrs stellte im zweiten Übersichtsvortrag dar, wie sich die gewachsenen funktionellen und technischen Anforderungen an die Prozeßmeßtechnik im Entwicklungs- und Produktionsprogramm des KEAW widerspiegeln. Es besteht die Notwendigkeit, Sensoren mit einem der Mikroelektroniktechnologie angepaßten Preis-Leistungs-Verhältnis zu produzieren. Es erfolgt daher ein schrittweiser Übergang von bisher rein elektromechanischen Wirkprinzipien zu gemischt elektronisch/elektromechanischen bzw. rein elektronischen Varianten. Sowohl durch mikroelektronische Sensoren als auch durch Kombination von geeigneten Sensoren mit einem Mikrorechner wird ein hoher Gebrauchswert erzielt. Ein umfangreiches Programm weiter- und neuentwickelter Prozeßmeßgeräte aus dem KEAW wird diesen Forderungen gerecht.

Im dritten Übersichtsvortrag ging *G. Kunack* auf spezielle Probleme der Sensortechnik ein. Mikroelektronische Technologien eröffnen ein neues weites Feld, genügen jedoch in ihrer gegenwärtigen Form nicht umfassend den Anforderungen an die Sensortechnik. Fertigungstechnisch folgt einer primären reinen Mikroelektronik-Technologie in der Regel eine angepaßte spezielle Sensortechnologie. Die extreme Verkleinerung, die die

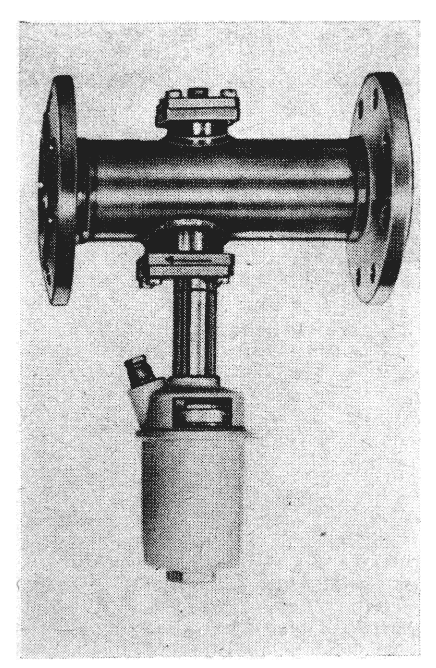


Bild 1. Durchflußmeßgerät ursaflux W vom VEB JUNKALOR Dessau

Integration für den eigentlichen Fühler ermöglicht, läßt sich nicht immer durchweg für die komplette Baueinheit durchsetzen. Häufig sind zur Signalaufbereitung Baugruppen und Einrichtungen erforderlich, die nicht mit der speziellen Sensortechnologie kompakt erstellt werden können. Bei der Auswahl der Sensortechnologie spielt außerdem die geplante Jahresstückzahl eine entscheidende Rolle.

In den Fachvorträgen wurden Entwicklungsergebnisse vorgestellt. *K. Schilder* sprach über frequenzanaloge Durchflußmeßeinrichtungen vom VEB JUNKALOR Dessau (Bild 1). Die Typenreihe arbeitet nach dem Prinzip der Karmanschen Wirbelstraße. Die vorgestellten Geräte sind bei Flüssigkeiten bis zu 7 ms^{-1} und bei Gasen bis zu 28 ms^{-1} Strömungsgeschwindigkeit einsetzbar und haben maximale Meßfehler von $\pm 1{,}0\%$ bei gasförmigen und $\pm 0{,}6\%$ bei flüssigen Meßstoffen.

Die Konzeption eines Volumenumwerters als Zusatzgerät für Durchflußmeßeinrichtungen mit frequenzanalogem Ausgangssignal behandelte *U. Schöpflin*. Der Umwerter enthält den Mikroprozessor U 880 und verarbeitet die Zustandsgrößen Druck und Temperatur und die Meßgröße Volumenstrom mit hoher Genauigkeit.

H. Winkler berichtete über Erfahrungen bei der Prüfung von Wirbelzählern im ASMW Berlin. Die Einsatzgrenzen wurden dargestellt und Hinweise zur Auswahl von Wirbelzählern in Abhängigkeit vom Meßproblem gegeben.

Das neue Programm induktiver Initiatoren vom VEB Meßgerätewerk Beierfeld wurde von *H. Sowa* vorgestellt. Mit Hilfe der neuen Schaltkreise B 303 ... B 306 wurden gegenüber den bisherigen Initiatoren mehrere Zusatzfunktionen realisiert und technische Hauptparameter verbessert bzw. erweitert.

Über eine neue Generation mikroelektronischer Zähler vom VEB Massi Werdau sprach *H. Weidenmüller*. Diese 4stelligen Vor- und Rückwärtszähler arbeiten auf der Grundlage des LSI-Schaltkreises U 125. Der direkte Anschluß kontaktgebender, induktiver und fotoelektrischer Initiatoren sowie TTL-Signalein- und -ausgänge und Datenerhalt bei Netzausfall über mindestens 100 h ermöglichen universellen Einsatz.

F. Engel berichtete über das ursatherm — Pyrovarsystem für berührungsfreie Temperaturmessungen vom VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" Magdeburg (Bild 2). Das Typenspektrum umfaßt den Temperaturmeßbereich von −20 bis +2000 °C. Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten in der Industrie, im Bauwesen, in der Human- und Veterinärmedizin wurden dargestellt.

Über Technologie und Einsatzmerkmale von Hybridbauelementen sprachen *H.-J. Just* und *G. Burkert*. Als Konsequenz der erforderlichen Arbeitsteilung zwischen Bauelemente- und Geräteehersteller bei der Entwicklung integrierter elektronischer Bauelemente wurde im Institut für Regelungstechnik ein Hybridlabor aufgebaut. Seine Aufgaben sind die Entwicklung kundenspezifischer Hybridschaltkreise, Entwicklung und Erweiterung der Verfahrenstechnologie und die Untersuchung des Einsatzes von Schichtsystemen für Sensoren. Für den Einsatz im o. g. Handpyrometer wurden zwei Hybridschaltkreise entwickelt, die eine Realisierung der elektronischen Komponenten auf engem Raum gewährleisten (Bild 3).

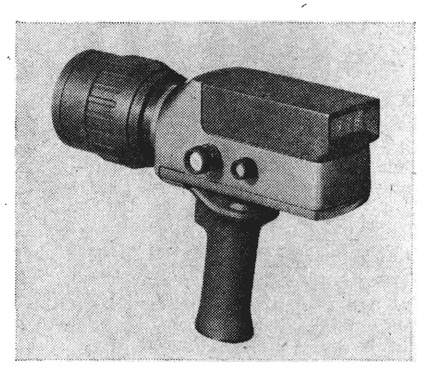


Bild 2. Handpyrometer vom VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" Magdeburg

Das Feldmeßumformer-Programm der ursacord-COMPACT-COMBINATION vom VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" Magdeburg stellte *K. Fiedler* vor. Die Meßumformer verarbeiten die natürlichen Abbildungssignale elektronischer Meßfühler zu einem störunempfindlichen, über große Entfernungen übertragbaren Einheitssignal und sind auch in explosionsgefährdeten Räumen einsetzbar.

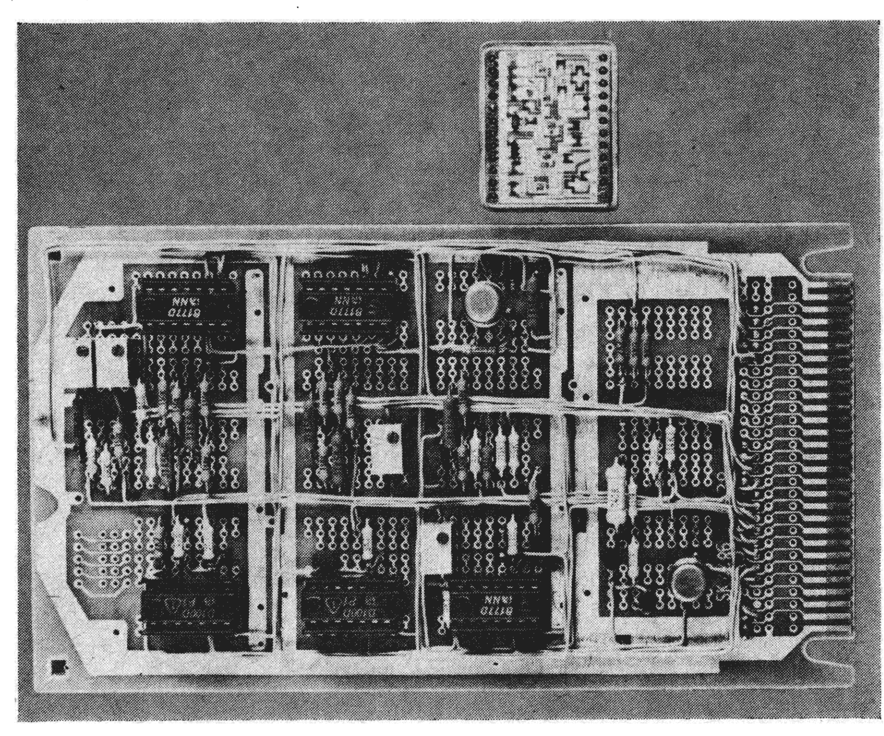
Über das Festelektrolyt-Meßgerätesystem ursalyt G des VEB JUNKALOR Dessau berichtete *E. Prescher*. Das konzipierte Gerätesystem umfaßt zur Zeit 4 Geräte für Sauerstoffmessungen in Inertgasen, komplexe Inertgasanalyse, Leckdetektion in Kernkraftwerken und für Sauerstoffmessungen in Abgasen.

Der Einsatz optischer Anzeigeeinheiten in der Prozeßmeßtechnik führt zu ingenieurpsychologischen Problemstellungen hinsichtlich einer optimalen Gestaltung der Mensch-Maschine-Beziehungen. *J. Dammköhler* stellte Arbeitsergebnisse von ingenieurpsychologischen Themenbearbeitungen über den Standard „Skalen und Zeiger", über Sinnbilder für die Meß- und Regelungstechnik und zu experimentellen Untersuchungen zum Einsatz optoelektronischer Anzeigen in der Prozeßmeßtechnik dar.

Über Standards für die Prozeßmeßtechnik berichtete *K. Götte*. Er erläuterte, daß für die Prozeßmeßtechnik eine große Anzahl von Standards hinsichtlich metrologischer und systemtechnischer Eigenschaften zu berücksichtigen ist. In speziellen Fällen wurden und werden Erzeugnisstandards erarbeitet. Neben national eingeführten RGW-Standards existieren nationale Standards, die mit GOST abgestimmt sind.

Die Perspektiven programmierbarer Geräte im prozeßnahen Raum legte *H. Schöpflin* dar. Programmierbare Auto-

Bild 3. Pyrometer-Hybridschaltkreis vom IfR Berlin im Vergleich zu einer diskreten Ausführung



matisierungsmittel gewinnen im prozeßnahen Raum ständig an Bedeutung. Zum Anschluß an übliche Prozeßmeßgeräte sind Zwischenstationen erforderlich, die A/D- und D/A-Wandler, eine programmierbare Rechenpotenz und ein serielles Interface zur Kopplung an andere Zwischenstationen und den Leitstand über einen Prozeßbus enthalten. Ein Konzept für eine kostengünstige Lösung dieser Aufgaben wurde vorgestellt. Parallel zur Konferenz wurden in einer Ausstellung einzelne Beispiele der in den Vorträgen dargestellten Baugruppen und Geräte gezeigt.

Die nach jedem Vortrag einsetzende Diskussion zeigte das große Interesse der Anwender für den Problemkreis der Prozeßmeßtechnik und ihrer weiteren Entwicklung. Zugleich erhielten die Vertreter aus Forschung und Entwicklung wertvolle Anregungen. Insgesamt kann festgestellt werden, daß diese gelungene Veranstaltung dazu beigetragen hat, die Ergebnisse der wissenschaftlich-technischen Arbeit zur Prozeßmeßtechnik im KEAW einem breiten Interessentenkreis zugänglich zu machen.

msr 8029 *B. Eckar*

9. Arbeitsberatung des Fachunterausschusses „Temperaturmeßtechnik"

Die Arbeitsberatung 2/83 des Fachunterausschusses „Temperaturmeßtechnik" der WGMA fand vom 26. bis 28. Oktober 1983 in Hettstedt und Meisdorf statt. An ihr nahmen 32 Mitglieder und Gäste teil.

Im Mittelpunkt der Beratung standen Informationen zur Fertigung und Prüfung von Mantelthermoelementen, zur Cu-Drahtherstellung und über Aufbau und Einsatz von Neutronenflußmeßlanzen zur Kernreaktorüberwachung.

Die ausreichende Kenntnis des Driftverhaltens von Temperatursensoren ist eine Voraussetzung zur Verringerung der Meßunsicherheit bei industriellen Temperaturmessungen. Dazu wurde über Meßergebnisse beim Dauereinsatz von NiCr-Ni-Mantelthermoelementen im Bereich von 700 ... 900 °C berichtet. Die gefundene Zeitabhängigkeit der Thermospannung konnte mit relativ einfachen mathematischen Ausdrücken approximiert werden.

Die Kennlinien der Standard-Thermoelemente nach TGL 39440 (St RGW 1059-78) wurden von Studenten der TH Ilmenau einheitlich durch Polinome 4. Ordnung approximiert. Diese sollen 1984 in einem Arbeitsblatt des FUA zusammengestellt werden.

Einen weiteren Schwerpunkt der Arbeitsberatung bildeten die monolithisch integrierten Temperatursensoren. Dazu wurden Untersuchungen zur Langzeitstabilität und praktische Einsatzerfahrungen in Verbindung mit einem zusätzlichen Transmitterbaustein (Ausgangsstrom 5 ... 20 mA) vorgestellt. Vom VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder wurde über den Entwicklungsstand und die vorgesehenen Haupteinsatzgebiete des entsprechenden Temperatursensors B 511 berichtet.

Aus dem Bereich der industriellen Anwendung wurden Probleme der Temperaturmessungen an Flachglas-Schmelzanlagen und des Einsatzes des neuentwickelten Speiser-Pyrometers Glasipyr (ITG Jena) diskutiert.

Der Fachunterausschuß „Temperaturmeßtechnik" will 1984 mit einer Neufassung der weit verbreiteten aber veralteten TGL 0-1953 (Temperaturmeßregeln) beginnen. Dazu wurden zwei Arbeitsgruppen gebildet. Es ist vorgesehen, nur noch einen stark begrenzten Teil weiterhin als DDR-Standard herauszugeben. Der größere Teil mit mehr informatorischem und empfehlendem Charakter soll künftig als KDT-Richtlinie „Temperaturmeßtechnik" erscheinen.

msr 8022 *F. Bernhard*

msr TAGUNGEN UND KOLLOQUIEN

FLOMEKO '83

Vom 20. bis 22. September 1983 fand in Budapest die FLOMEKO' 83 statt. Nach Gronningen (1978) und Tokio (1979) war es die dritte FLOMEKO, vorbereitet und durchgeführt durch das TC 9 „Flow Measurement" der IMEKO.

An dieser wohl bedeutendsten Tagung auf dem Fachgebiet der Mengen- und Durchflußmessung nahmen 100 Fachleute aus 20 Ländern teil, um den internationalen Stand der Mengen- und Durchflußmeßtechnik in Industrie, Forschung und im gesetzlichen Meßwesen darzustellen, Neuentwicklungen vorzustellen und Impulse für Neu- und Weiterentwicklung von Durchflußsensoren zu vermitteln. Die DDR beteiligte sich mit einer kleinen Delegation aktiv sowohl an der inhaltlichen Gestaltung als auch an der erfolgreichen Organisation der Tagung.

Großen Anteil am Erfolg der FLOMEKO '83 hatten die ungarischen Gastgeber, die durch ausgezeichnete Konferenzbedingungen und aufmerksame Betreuung wesentlich das schöpferische Arbeitsklima förderten.

Der Teilnehmerkreis setzte sich aus Vertretern der nationalen metrologischen Staatsinstitutionen (Ungarische VR, ČSSR, DDR, Großbritannien, Japan, BRD), maßgebenden Herstellern von Meßmitteln der Mengen- und Durchflußmessung (Kent, Danfoss, Instromet, Krohne, Bopp & Reuther, Fischer & Porter, Flowtec sowie MMG Automatik-Werke und Vegyepszer der Ungarischen VR), staatlichen Erdöl- und Gasversorgungsunternehmen (Großbritannien, Dänemark, Niederlande und Schweden) und Wissenschaftlern von Universitäten, staatlichen und industriellen Forschungseinrichtungen zusammen. Die FLOMEKO '83 behandelte die Gesamtproblematik der Mengen- und Durchflußmessung:

- Erfassung von Mengen und Durchflüsse abbildenden Meßsignalen
- Elektronische Komponenten zur Verarbeitung der Meßsignale
- Probleme der metrologischen Sicherung der Durchflußmessung.

Die Konferenz vermittelte in 10 Sessionen einen ausgezeichneten Überblick über den Stand der industriellen Durchflußmeßtechnik, stellte neuentwickelte Meßmittel vor und verdeutlichte die Bemühungen, die meßtechnischen Eigenschaften (z. B. Zuverlässigkeit, Meßunsicherheit) entscheidend zu verbessern.

Einen Überblick vermittelt folgende Zusammenstellung:

Session A:	Molch-Normalmeßeinrichtungen und Volumenmessung (2 Vorträge)
Session B:	Vergleichsmessungen und Transfernormale (2 Vorträge)
Session C:	Normalmeßeinrichtungen für Flüssigkeiten (3 Vorträge)
Session D:	Normalmeßeinrichtungen für Gase (3 Vorträge)
Session E:	Elektromagnetische Durchflußmesser (4 Vorträge)
Session F:	Korrelationsdurchflußmessung (3 Vorträge)
Session G:	Ultraschalldurchflußmesser (3 Vorträge)
Session H:	Neue Meßeinrichtungen und elektronische Komponenten der Durchflußmessung (4 Vorträge)
Session I:	Zweiphasen-Durchflußmessung (2 Vorträge)
Session K:	Differenzdruck-Durchflußmeßeinrichtungen (5 Vorträge).

10 der 31 Vorträge beschäftigen sich direkt mit Normalmeßeinrichtungen und Prüfverfahren der Mengen- und Durchflußmeßtechnik. Damit wird das Bestreben des ASMW der DDR sowie verschiedener Fachausschüsse und Fachunterausschüsse der KDT bestätigt, die meßtechnische Basis zur Prüfung von Mengen- und Durchflußmeßmitteln sowohl bei den metrologischen Staatsinstitutionen, bei Meßmittelherstellern als auch bei Anwendern zu erweitern. Die Beiträge drückten die führenden Positionen Großbritanniens, Japans und der BRD aus. Im Beitrag A 1 berichtete *W. C. Pursley*, Großbritannien, über internationale Vergleichsmessungen an 6 westeuropäischen volumetrischen Normalmeßeinrichtungen für Mineralöle und Kraftstoffe. Als Transfernormal wurden zwei hintereinandergeschaltete Treibschieber-Volumenzähler gleicher Ausführung verwendet. Die Gesamtlänge des transportablen Transfernormals betrug 2515 mm. Bei einem Durchfluß von 900 l/min wurden für Volumina zwischen 900 l bis 10000 l Abweichungen kleiner 0,1% festgestellt. Bei Prüfungen mit 900 l/min und 1000 l Volumen wurden lediglich 0,02% Unterschiede gemessen. Die festgestellten Unterschiede lagen innerhalb der für die Prüfanlagen angegebenen Unsicherheiten.

Ebenfalls über Vergleichsmessungen zwischen Normalmeßeinrichtungen des National Engineering Laboratory (NEL) in East Kilbride, Großbritannien, und dem Delft Hydraulics Laboratory (DHL), berichtete *E. A. Spencer*, Großbritannien, im Beitrag B 1.

Als Transfernormal wird eine Anordnung von zwei hintereinandergeschalteten Blendenmeßstrecken verwendet. Die ermittelten Unterschiede von $-0{,}02\%$ bis $-0{,}17\%$ $\left(\frac{\text{DHL} - \text{NEL}}{\text{NEL}}\right)$ liegen auch hier innerhalb der Gesamtmeßunsicherheit von $\pm 0{,}2\%$ für beide Einrichtungen. Den dritten Beitrag zu dieser Problematik (B 2) trug *P. Szent-Iványi*, DDR, vor. Er berichtete über die an Normalmeßeinrichtungen des ASMW und des Metrologischen Instituts der ČSSR (ČSMU) durchgeführten internationalen Vergleichsmessungen. Als Transfernormal wurde ein Wälzkolbenzähler verwendet, so daß Aussagen nur für Volumenströme bis 24 m^3/h möglich waren. Die maximalen Abweichungen betrugen 0,06%.

In der Diskussion wurde die große Bedeutung internationaler Vergleichsmessungen unterstrichen und die Entwicklung zeitlich stabiler transportabler Transfernormale gefordert.

N. Watanabe, Japan, stellte in seinem Vortrag C 1 die Normalmeßeinrichtung für Flüssigkeiten des japanischen National Research Laboratory of Metrology vor. Ausgestattet mit volumetrischen und gravimetrischen Normalen verfügt die Anlage über vier Meßstrecken der Nennweiten 1100 mm, 900 mm, 650 mm und 400 mm. Die Einlaufstrecken betragen 110 m, die Auslauflängen 23 m, es sind maximale Volumenströme von 3000 m^3/h möglich. Die Meßunsicherheit der Anlage wird mit $\pm 0{,}1\%$ angegeben.

Über Normalmeßeinrichtungen, die in der Ungarischen VR errichtet wurden, berichteten *J. Györy* (A 2), *S. Kún* (C 2) und *Z. Bercsi* (C 3). Diese Beiträge widerspiegeln das Bemühen der ungarischen meßmittelherstellenden Industrie, Systemlösungen für die Mengen- und Durchflußmessung einschließlich Normalmeßeinrichtungen (Molch-Prüfanlagen) anzubieten.

J. Györy berichtete über die Ermittlung der Meßunsicherheit von Molch-Prüfanlagen, die von Vegyepszer hergestellt werden. Er wies auf Unterschiede hin, die bei Anwendung verschiedener Methoden zur Bestimmung der Meßunsicherheit sowie bei unterschiedlicher Anzahl von Messungen auftreten (API, PTB, OMH) und forderte das TC 9 auf, sich für die Erarbeitung einheitlicher Richtlinien einzusetzen. *S. Kún* setzte in seinem Beitrag die Diskussion dieser Problematik fort, indem er verschiedene Arten von Normalen verglich.

Z. Bercsi beschrieb im Beitrag C 3 eine Freiluft-Normalanlage zur Kalibrierung von Turbinenzählern mittels Molch-Normal. Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Normalanlage wurden fünf Turbinen-Normalzähler in fünf parallelen Meßstrecken einzeln untersucht und anschließend in verschiedener Reihenfolge gleichzeitig betrieben. Unter stabilen Wetterbedingungen wurden maximale Abweichungen von $\pm 0{,}1\%$ festgestellt, bei schlechtem Wetter (Gewitter, Regen) betrugen die Abweichungen $\pm 0{,}3\%$.

Über Normalmeßeinrichtungen für Gase berichteten *D. Dopheide*, BRD, in D 1 und *A. Aschenbrenner*, BRD, in D 2. Beide gehören zur PTB und demonstrierten den großen Aufwand, der seitens der BRD für die Entwicklung von Normalmeßeinrichtungen eingesetzt wird. *D. Dopheide* stellte den Entwicklungsstand des Einsatzes eines Laser-Doppler-Anemometers als Normalmeßeinrichtung dar. Die rechnergekoppelte Meßeinrichtung erlaubt die hochgenaue Abtastung eines Strömungsquerschnittes und realisiert bereits beim jetzigen Entwicklungsstand im Meßbereich 10 m^3/h bis 2500 m^3/h Meßunsicherheiten von $\pm 0{,}1\%$.

A. Aschenbrenner beschrieb den Einfluß der Feuchte auf den Durchfluß von kritischen Düsen. Er stellte eine Methode vor, die den Einfluß mit einer Unsicherheit von $2 \cdot 10^{-4}$ erfaßt und seit zwei Jahren erfolgreich bei PTB angewendet wird. Kritische Düsen als Normalmeßeinrichtungen für Gas haben eine Meßunsicherheit der Größenordnung 10^{-3}. In drei Beiträgen wurden neue Gerätelösungen magnetisch-induktiver Durchflußmesser vorgestellt:

H. Yamasaki, Japan, beschrieb in E 1 einen Durchflußmesser mit elektrisch leitender Rohrwand ohne Isolierschicht. Durch Anordnung zusätzlicher, mit der äußeren Rohrwand verschweißter Elektroden gelingt es, das bisher nur für Fluide mit größerer elektrischer Leitfähigkeit als die der Rohrwand (z. B. Flüssiges Na oder NaK) angewendete Verfahren auch für Fluide mit kleinerer elektrischer Leitfähigkeit einzusetzen. Durch das Aufbringen eines zusätzlichen Wandpotentials wird eine spürbare Erhöhung der Empfindlichkeit erreicht, sie entspricht der eines Durchflußmessers mit nichtleitender Rohrwand. Durch dieses neue Verfahren werden Lebensdauer und Zuverlässigkeit magnetisch-induktiver Durchflußmesser erhöht.

K. W. Bonfig, BRD, stellt im Beitrag E 4 ein magnetisch-induktives Verfahren zur Durchflußmessung in offenen Kanälen vor. Mit mindestens zwei Spulen, an den Außenbegrenzungen des Kanals in Ebene des Strömungsquerschnittes angeordnet, einem den Strömungsquerschnitt umfassenden Eisenschluß und einem rotierenden Magnetfeld, dessen Richtung geändert werden kann, ist es möglich, Signale für die Geschwindigkeit, den Strömungsquerschnitt und den Durchfluß zu gewinnen.

J. Huusom, Dänemark, stellte in einem zusätzlich ins Programm aufgenommenen Vortrag ein im Clorius Research Laboratory entwickeltes magnetisch-induktives Durchflußmeßgerät für den Einsatz in Wohnungs-Heißwassernetzen vor. Bei einem Nenndurchmesser von etwa 20 mm wurde ein Meßbereich von 1:100 angegeben. Im Dauerversuch wurden bei 40 °C Wassertemperatur im Durchflußbereich 14 l/h bis 1560 l/h Meßunsicherheiten $< \pm 1{,}1\%$ erreicht. Das Gerät arbeitet einwandfrei bei elektrischen Leitfähigkeiten > 5 S/cm.

Langzeiterprobungen über 2 Jahre in Fernheizanlagen führten zu keinen wesentlichen Veränderungen der Eigenschaften.

Die Geschwindigkeit im Meßquerschnitt bei maximalem Durchfluß beträgt 7 m/s, die induzierte Spannung ergibt sich dafür zu 4,5 mV.

Die vorgestellte Entwicklung stellt den ersten ernsten Versuch dar, zur Messung und Verrechnung von Kleinabnehmern (Wohnungen) verbrauchter thermischer Energie vom Prinzip des Flügelradzählers als Durchflußmesser abzugehen.

J. E. Deacon, Großbritannien, berichtete über Ergebnisse eines Versuchsprogrammes, im Rahmen dessen vier magnetisch-induktive Durchflußmesser unterschiedlicher Konstruktion unter variierten Einsatzbedingungen untersucht wurden.

Untersucht wurden die Einflüsse von Ein- und Auslauflängen, 90°- und 180°-Krümmungen in zwei Ebenen auf die Anzeige der Durchflußmesser sowie die Nullpunktstabilität beim Entleeren und Füllen, bei Druck- und Temperaturänderungen, Änderungen der Zusammensetzung der Flüssigkeit und in der Aufheizperiode nach Anschalten der Elektronik. Bemerkenswert ist die Feststellung, daß keines der fabrikneuen Meßgeräte (untersucht wurden jeweils zwei Geräte des gleichen Typs) die nach Katalog zugesicherten Meßunsicherheiten aufwies. Erst durch aufwendige Justierarbeiten konnten die Parameter erreicht werden.

Zum Thema „Korrelationsdurchflußmessung" wurden drei Vorträge gehalten:

R. P. Keech, Großbritannien, stellte im Beitrag F 1 das erste kommerziell erhältliche Korrelationsdurchflußmeßgerät der Welt vor. Es besteht aus dem bereits bekannten Mehrkanal-Kreuzkorrelator und redundant ausgeführten Ultraschall-Sensoren (2 Meßstrecken) und ist besonders für die Durchflußmessung in Mehrphasen-Mehrkomponenten-Systemen geeignet.

C. Koppermann, BRD, faßte in seinem Beitrag F 2 die an der Universität Karlsruhe durchgeführten Arbeiten zur Korrelationsmeßtechnik zusammen. Er leitete ein Modell des Kreuzkorrelationsdurchflußmessers ab und analysierte Einflußgrößen. Er wies auf die Notwendigkeit der Kalibrierung hin.

T. Hargitai, Ungarische VR, stellte den am Zentralen Forschungsinstitut für Physik in Budapest entwickelten Mehrkanal-Polaritätskreuzkorrelator für Durchflußmessungen vor. Ergebnisse

mit γ-Strahlungsmeßstrecken wurden dargestellt.
Fortschritte auf dem Gebiet der Ultraschall-Durchflußmessung wurden in drei Beiträgen vermittelt:
A. C. Haacke, USA, stelle in G 1 eine erweiterte Theorie des Ultraschalldurchflußmessers vor, die unter Einbeziehung des Strömungsprofiles die genauere Auslegung der Meßeinrichtung ermöglicht. Die optimale Geometrie für Meßsysteme, die für laminare und turbulente bzw. ausschließlich für turbulente Rohrströmungen Verwendung finden, wurde angegeben.
J. G. O'Hair, Großbritannien, beschrieb in G 2 ein Ultraschall-Durchflußmeßgerät, das erfolgreich in Hochdruck-Erdgasleitungen (4 bis 7 MPa) erprobt wurde. Der Strömungsquerschnitt wird in vier Ebenen durchschallt. Für ein Prototyp-Meßgerät der Nennweite 150 mm wurden bei Dauerversuchen im Meßbereich 0,2 bis 25 m/s (14—1700 m³/h) im Druckbereich 2,4—5,2 MPa Meßunsicherheiten kleiner ±1% nachgewiesen. British Gas Corporation beabsichtigt aufgrund der erfolgreichen Erprobung, schrittweise die bisher eingesetzten Blendenmeßstrecken durch Ultraschallmeßgeräte zu ersetzen.
C. Akiyama, Japan, beschrieb in G 3 eine neue Methode zur Messung der Laufzeit des Schalles. Die als „single channel digital phase-locked-lopp" bezeichnete Methode integriert einen Mikroprozessor im Meßsystem und erreicht genauere Messungen als die Zweikanalmethode.
R. Bregman, BRD, diskutierte in H 2 Probleme von Ultraschall-Dopplermeßsystemen. Die bei Krohne durchgeführten Arbeiten beinhalten auch die Entwicklung eines Doppler-Simulators zum Prüfen der Elektronik.
R. Hönl, Westberlin, stellte im Beitrag H1 eigene Arbeiten zur Entwicklung eines Stauscheiben-Durchflußmessers vor. Die Konstruktion eines Labormusters der Nennweite 50 mm wurde beschrieben. Das sich selbstabgleichende Meßgerät ist für die Erfassung von Masseströmen geeignet.
G. L. Pankanin, VR Polen, befaßte sich in seinem Beitrag H 3 mit dem Wirbelfrequenz-Durchflußmeßprinzip. Er ordnet den Störkörper unmittelbar hinter einer sprungartigen Erweiterung des Strömungskanales an und erreicht mehrfache Verstärkung des Meßsignales. Der Meßbereich wird mit 1:10, die Meßunsicherheit mit ±1% angegeben.
Probleme der Entwicklung und Anwendung eines Flow Computers wurden im Vortrag H 4 behandelt:
S. Kún, Ungarische VR, trug den Beitrag vor, der die im MMG Automatik Werke Budapest erreichten Ergebnisse beinhaltete. Das Gerät ist für den Einsatz als Volumenumwerter in Gasmeßstationen und Ölmeßstationen vorgesehen. Hardwarekonfiguration und Algorithmen für die Kopplung mit Blendenmeßstrecken und Turbinenzählern werden beschrieben. Meßgeräte der Kategorie von Flow Computern werden dringend benötigt, da ihr Einsatz zur Verbesserung der meßtechnischen Eigenschaften der industriellen Durchflußmeßtechnik führt.
A. T. J. Hayward, Großbritannien, schlug im Beitrag I.1 zur Verringerung der Meßunsicherheit bei Durchflußmessungen in Zweiphasenströmungen eine Homogenisierung der Strömung vor.
In der Einlaufstrecke zum Durchflußmeßgerät wird ein Teil des Zweiphasengemisches mit einer Pumpe abgesaugt und über Düsen dem Hauptstrom wieder zugeführt, wodurch eine Homogenisierung eintritt. Die Entwicklungsarbeiten sind noch nicht abgeschlossen.
D. Barschdorf, BRD, stellte in I 2 Ergebnisse optischer Messungen zur Geschwindigkeitsmessung der Einzelkomponenten von Zweiphasengemischen vor. Er verglich vier statistische Methoden zur Signalverarbeitung. Er kam zu dem Ergebnis, daß das Korrelationsverfahren am geeignetsten zur Bestimmung der Laufzeit ist. Die Komplex-Koherenz-Funktion führt zwar zu deutlicher ausgeprägten Maxima, ist aber mit größerem Rechenaufwand verbunden.
E. A. Spencer, Großbritannien, trug den Beitrag K 1 von *Alvi*, Saudi-Arabien, vor, der neue Ergebnisse der Berechnung von Kontraktionskoeffizienten für Blendenmeßstrecken beschrieb. Unter Berücksichtigung der Geschwindigkeitsprofile und der Reibung erhielt er Koeffizienten, die sehr gut mit experimentellen Werten übereinstimmen.
S. Mazurek, VR Polen, beschrieb im Vortrag K 2 Meßprinzip, Auslegungskriterien und meßtechnische Eigenschaften eines Massestrommeßgerätes für Flüssigkeiten. Das auf dem Prinzip der hydraulischen Wheatston-Brücke beruhende Meßgerät wird von der amerikanischen Meßgerätefirma Flo-Tron Inc. hergestellt. Es ist für die Kraftstoffdurchflußmessung geeignet und zeichnet sich durch große Meßbereiche (1:50 und 1:100) bei Meßunsicherheiten ±0,5% vom Meßwert aus. Gerätetypen werden für 0 ... 5 kg/h bis 0 ... 25000 kg/h gefertigt. Kleinste Flüssigkeitsdurchflüsse von 0,05 kg/h wurden noch mit der Meßunsicherheit von ±0,5% gemessen.
An der Technischen Universität Gdansk, VR Polen, wurde zur Auswertung der Meßsignale ein Flow Computer entwikkelt und gefertigt, der die seitens Flo-Tron gelieferte Auswerteelektronik ersetzen soll. Die Anwendung dieses Meßverfahrens zur Kraftstoffmessung am Verbrennungsmotor mit der Zielstellung der technischen Diagnose des Motors wurde von *G. Roznowski*, VR Polen, dargestellt. Das Meßsystem wurde vorgestellt und erste Ergebnisse wurden dargestellt.
G. Dankó, Ungarische VR, beschrieb im letzten Vortrag (K 4) einen an der Technischen Universität Budapest entwickelten Durchflußmesser, der als Kombination von Blende und federbelastetem Schwebekörper aufgefaßt werden könnte. Durch die Querschnittsgestaltung wird eine hydraulische Linearisierung erreicht. Das Meßgerät ist für den Einsatz in pulsierenden Strömungen und zur Messung von Zweiphasengemischen geeignet. Meßunsicherheiten wurden nicht angegeben, auch nicht die erreichbaren Meßbereiche und auftretenden Druckverluste.
Die Volltexte der auf der FLOMEKO '83 gehaltenen Vorträge werden als gebundene Proceedings veröffentlicht. Es ist weiterhin vorgesehen, einzelne Vorträge im IMEKO-Journal „Measurement" zu veröffentlichen. Der Volltext der Vorträge liegt ebenfalls als Preprints bei den Mitgliedern der DDR-Delegation vor und kann eingesehen werden bei:
Doz. Dr.-Ing. *H. Kluge*, Technische Universität Dresden, Sektion Energieumwandlung, WB Meß- und Automatisierungstechnik, 8027 Dresden, Mommsenstr. 13,
Dr.Ing. *P. Szent-Iványi*, ASMW Berlin, Fachabteilung Thermodynamik, Fachgebiet Durchfluß, 1026 Berlin, Wallstr. 16.

msr 8024 *H. Kluge*

XIV. Arbeitstagung „Betriebsanalysenmeßtechnik"

Am 2. November 1983 fand im Klubhaus des VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" die XIV. Arbeitstagung „Betriebsanalysenmeßtechnik" statt, die von der Betriebssektion der KDT des VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" und dem FUA „Betriebsanalysenmeßtechnik" des FA „BMSR-Technik" des FV Chemische Technik veranstaltet wurde. 120 Teilnehmer, die vorrangig aus den Analysenbereichen der chemischen Industrie, der geräteherstellenden Industrie sowie aus Forschungseinrichtungen und Hochschulen kamen, nahmen daran teil. Das Programm umfaßte 6 Vorträge mit jeweils anschließender Diskussion.
Die thematischen Schwerpunkte waren in bewährter Weise auf die Anwender von Betriebsanalysatoren zugeschnitten und umfaßten

- einen Überblick über den Stand und die Entwicklung betriebsanalytischer Meßeinrichtungen
- eine Vorstellung neuartiger Meßprinzipien und Meßverfahren, verbunden mit typischen Einsatzbeispielen
- einige Eigenentwicklungen aus der chemischen Industrie und aus Forschungsinstituten
- applikative Möglichkeiten konventioneller Analysatoren bei der Feuchtespurenmessung und der Messung organischer Spuren im Wasser.

Die lebhaften Diskussionen zeigten, daß es den Veranstaltern gelungen ist, die Anwender betriebsanalytischer Geräte mit dem Programm anzusprechen und insbesondere aktuelle betriebliche Probleme zu behandeln, wobei die Ausgewogenheit zwischen theoretischen und praktischen Problemen hervorzuheben ist. Eine Auswahl der in den Vorträgen dargestellten Meinungen mit daraus ableitbaren Schlußfolgerungen sei nachfolgend aufgeführt:

— Bei konventionellen Gasanalysatoren sind durch konstruktive Veränderungen und Umgestaltung der Signalverarbeitung noch beträchtliche Gebrauchswertsteigerungen möglich, wobei wesentliche Empfindlichkeitssteigerungen nicht zu erwarten sind. Die Gebrauchswertsteigerungen führen zu verringertem Aufwand bei der Probenaufbereitung, teilweise zu einer

automatischen Nullpunkteinstellung der Geräte sowie einer verbesserten Kopplung der Geräte mit dem Prozeß. In der Signalverarbeitung werden teilweise neue Algorithmen eingesetzt, was durch die Mikrorechner-Integration möglich wird

- Die Analysatoren werden zunehmend nicht als Einzelgeräte benötigt, sondern als Kombinationsgeräte, um ein technologisches Problem „vor Ort" zu lösen (z. B. CO-, O_2-, SO_2- und Rußmessung an Verbrennungsgasen)
- In einer Vielzahl von Aufgaben wird nicht das Abbildungssignal einer Konzentration benötigt, sondern eine verrechnete Größe, die ein Qualitätsabbildungssignal darstellt. Hierbei können auch Verarbeitungskenngrößen mit einbezogen werden
- In wachsendem Maße werden neuere Prinzipien in der Flüssigkeitsanalysenmeßtechnik eingesetzt. Hierbei ist der „Flow-Injection"-Methode eine besondere Stellung einzuräumen, da die Selektivität in weiten Grenzen steuerbar ist
- Bei den ionenselektiven Elektroden sind besonders die Membranelektroden entwicklungsfähig, da neue Applikationen möglich werden, die Technik des zeitbegrenzten wartungsarmen Billigeinsatzes machbar wird und Anwendungsfälle, die bisher mit Leitfähigkeitsreaktionsanalysatoren gelöst werden, hier mit besserer Dynamik erfaßbar sind
- Die Vorstellung eines frequenzanalogen Feuchtemessers für hohe Gastemperaturen zeigte, daß bei Frequenzen um 1,5 kHz noch bis 160 °C Feuchten auf diese Weise meßbar sind
- Die Anwendung von Strippermethoden läßt mit konventionellen Elektrolysehygrometern Wasserspurenmessungen in beliebigen organischen Flüssigkeiten zu, wobei der Gasflüssigkeitsübertragungsfaktor stark stoffspezifisch ist
- TOC-Meßanlagen können aus konventionellen Analysatoren und Aufbereitungseinrichtungen im Bedarfsfall modular vom Anwender in verschiedensten Kombinationen aufgebaut werden.

msr 8035 *H. Gatzmanga*

Tagung „Meßtechnik für thermische und hydraulische Größen"

Vom 1. bis 3. November 1983 wurde durch die TH „Otto von Guericke" Magdeburg in Verbindung mit dem Bezirksvorstand der Kammer der Technik die Tagung „Meßtechnik für thermische und hydraulische Größen" mit internationaler Beteiligung durchgeführt, an der 350 Vertreter aus Bildungs- und Forschungseinrichtungen, verschiedenen Industriezweigen sowie der Landwirtschaft teilnahmen, darunter auch aus der UdSSR, der ČSSR, der VR Polen und der Ungarischen VR. In 58 Vorträgen, die in einer Plenarveranstaltung sowie 5 Sektionen eingeordnet waren, wurden in einem breiten fachlichen Spektrum aktuelle meßtechnische Aufgabenstellungen, realisierte Lösungen und Beispiele ihrer Applikation im Maschinen- und Anlagenbau behandelt.

Inhaltliche Schwerpunkte bildeten die Entwicklung von Aufnehmern und der Einsatz rechnergekoppelter Meßeinrichtungen für die Meßgrößen Geschwindigkeit, Volumenstrom, Druck und Stoffparameter, die rechnergestützte Meßsignalerfassung und -verarbeitung, insbesondere bei instationären Meßgrößen sowie der Einsatz von Meßeinrichtungen in der Forschung, der Energieentwicklung und der Prozeßführung im Maschinen- und Anlagenbau.

Der anwendungsorientierte Charakter der Vorträge förderte die interdisziplinäre Zusammenarbeit und den Erfahrungsaustausch zwischen Naturwissenschaftlern, Meßtechnikern sowie den Herstellern und Betreibern von Maschinen und Anlagen. Die hohe volkswirtschaftliche Bedeutung der angewendeten Meßtechnik wurde an Beispielen der meßtechnischen Bewertung und Sicherung hoher Erzeugnisqualität, der Güte der Energie- und Stoffumwandlung sowie der Zuverlässigkeit und Umweltfreundlichkeit von Maschinen und Anlagen demonstriert.

Sowohl zur Signalidentifikation, insbesondere stochastischer Signale, als auch zur Systemidentifikation wurden interessante und in der praktischen Anwendung erprobte Lösungen vorgestellt. Der verstärkte Einsatz von Mikroelektronik und Mikrorechentechnik bei der Entwicklung und Realisierung meßtechnischer Lösungen zur Signalerfassung und Signalbewertung, Mehrstellenmessung, automatischen Kalibrierung, der Echtzeit-Meßtechnik sowie der Rationalisierung und Automatisierung des Meßprozesses wurde deutlich erkennbar.

msr 8038 *E. Aepler; I. Kosmowski*



TECHNISCHE INFORMATIONEN

Flußmeßgerät zum Messen magnetischer Wechselflüsse

Das Flußmeßgerät Typ FM dient zur Messung von Wechselflüssen in von Wechselströmen oder pulsierenden Gleichströmen erregten Ringbandkernen oder anderen Magnetkreisen. Die Meßgröße wird dabei aus der Spannung einer auf dem Ringbandkern angebrachten Sekundärwicklung abgeleitet. Bei den meisten Messungen genügt eine Sekundärwicklung mit der Windungszahl 1.

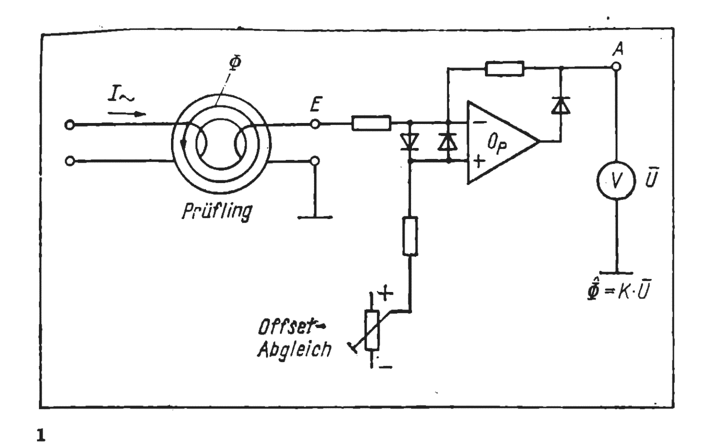
Aufgrund der Ausrüstung des Gerätes mit einem Operationsverstärker und dessen verschiedener Beschaltung kann die Amplitude des Flusses $\hat{\Phi}$ mit einem den arithmetischen Mittelwert messenden Spannungsmesser, z. B. Drehspuleninstrument, Digitalvoltmeter, gemessen werden. Außerdem kann der zeitliche Flußverlauf oszillografisch gemessen werden. In dieser Betriebsart ist die Ausgangsspannung des FM proportional dem Augenblickswert des Flusses. Damit ist es möglich, die Hysterese-Schleife bei Erregung mit Wechselstrom oder pulsierendem Gleichstrom auf dem Bildschirm eines Oszillographen abzubilden. Die Bilder 1 und 2 zeigen die Prinzipschaltung für die beiden Betriebsarten.

Das Gerät wurde zur Messung von Flüssen ausgelegt, die sich mit einer Frequenz von 50 Hz ändern. Es können auch Flüsse gemessen werden, deren Frequenz darunter oder erheblich darüber liegt. Das Gerät kann auch als Gleich- und Wechselspannungsverstärker verwendet werden. Wegen des niedrigen Eingangswiderstandes von 1 kΩ ist es speziell zur Verstärkung von Spannungen aus niederohmigen Quellen mit Innenwiderständen bis etwa 10 Ω geeignet. Damit eignet sich das Gerät besonders als

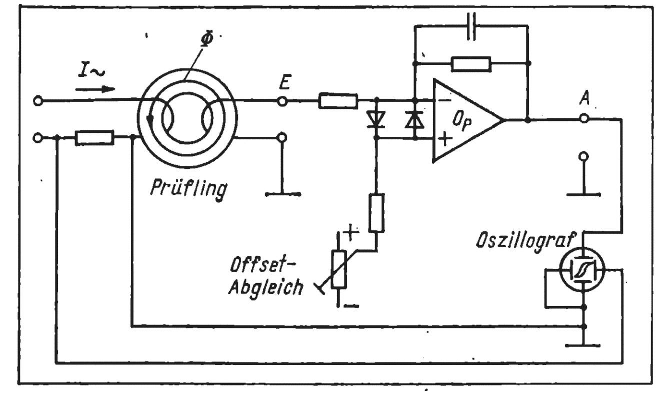
- Wechselspannungsverstärker für Spannungen aus Sekundärwicklungen von Ringbandkernen
- Verstärker für Spannungen, die von Meßwiderständen (Shunt) abgegriffen werden
- Verstärker für Spannungen aus Thermoelementen.

Wichtige Kenndaten

Netzanschluß:	220 V, 50 Hz (über Trenntransformator)
Einstellbare Verstärkung:	V = 100, 200, 500, 1000
Eingangswiderstand:	1 kΩ in allen Betriebsarten
Belastungswiderstand am Ausgang:	$Z \geqq 2$ kΩ
Ausgangsspannung:	aussteuerbar bis ±10 V
Flußmessung:	ab etwa $1 \cdot 10^{-6}$ Vs
Abmessungen:	300 × 180 × 160 mm;
Masse:	3,3 kg.



1



2

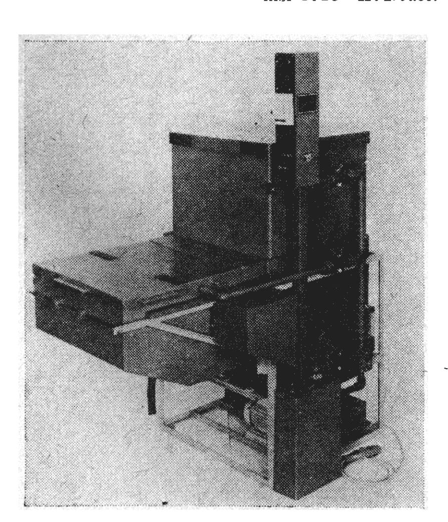
Das Gerät wurde nach einem Neuerervorschlag im VEB Elektroschaltgeräte Dresden entwickelt und ist unter Beachtung der dafür geltenden Bestimmungen nachnutzbar.

msr 8025 *S. Wirthgen*

Sprühätzbad

Das Ätzen von gedruckten Schaltungen ist in vielen Bereichen der Volkswirtschaft durch das Fehlen geeigneter Geräte zu einem Problem geworden. Im VEB TuR Dresden wurde ein Sprühätzbad entwickelt, das auf diesem Sektor eine Lücke schließt. Diese Maschine ist vor allem zum Ätzen von Klein- und Mittelserien konzipiert worden.
Im mehrjährigen Einsatz hat sich das Sprühätzbad so gut bewährt, daß eine Nachnutzung für viele Bereiche unserer Volkswirtschaft wünschenswert wäre. Ein Nachbau ist für jede mechanische Werkstatt problemlos. Die Bezugsteile sind handelsüblich. Das Bad besteht zu 90% aus PVC, nur wenige Baugruppen sind aus Stahl. Die elektrische Anlage ist einfach und kostengünstig. Durch Heizung, Antrieb und Zeitprogrammierung wird eine einwandfreie Ätzqualität erreicht. Bedienung, Wartung und Pflege sind unkompliziert.
Ein kompletter Zeichnungssatz zum Nachbau des Sprühätzbades ist ab 1. 1. 1984 über die Abt. Neue Technik, VEB Transformatoren- und Röntgenwerk, Betrieb Röntgen, 8030 Dresden, Overbeckstr. 48, zu beziehen. Technische Auskünfte zum Sprühätzbad erteilt Kollege *Neuber*, Tel. 597 2940.

msr 8018 *H. Neuber*



Helligkeitsmeßgerät

Das von der Fa. Erichsen/BRD entwickelte Helligkeitsmeßgerät „Reflektomaster, Modell 517" (Bild 3) ist ein Relexions-Fotometer mit einer 45/0°-Geometrie zur Messung des Lichtreflexionsgrades von Oberflächen. Es dient somit zur Bestimmung von Deckvermögen, Kontrastverhältnis, Aufhellvermögen und Farbstärke von Pigmenten, Anstrichen und ähnlichen Beschichtungen sowie zu allen sonstigen Helligkeitsbestimmungen, z. B. in der Papier-, Textil- und Waschmittelindustrie. Das Helligkeitsmeßgerät besteht aus einem Meßkopf und einer Versorgungseinheit mit digitaler Anzeige.
Es arbeitet nach folgendem Prinzip: Die Probe wird mit Lichtart *C* unter einem Winkel von 45° beleuchtet. Dabei wird das von ihr reflektierte Licht unter einem Winkel von 0° hinter einem *Y*-Filter als Relativwert zu einem Ideal-Weiß photometrisch bestimmt. Der resultierende Helligkeitswert entspricht dem *Y*-Wert, wie er mit Farbmeßgeräten gemessen wird. Durch den Einsatz hochwertiger optischer Bauteile und modernster Elektronik werden hohe Genauigkeit, Konstanz und Linearität der Meßergebnisse erreicht. Der Meßkopf ist klein, leicht und handlich.

Technische Daten

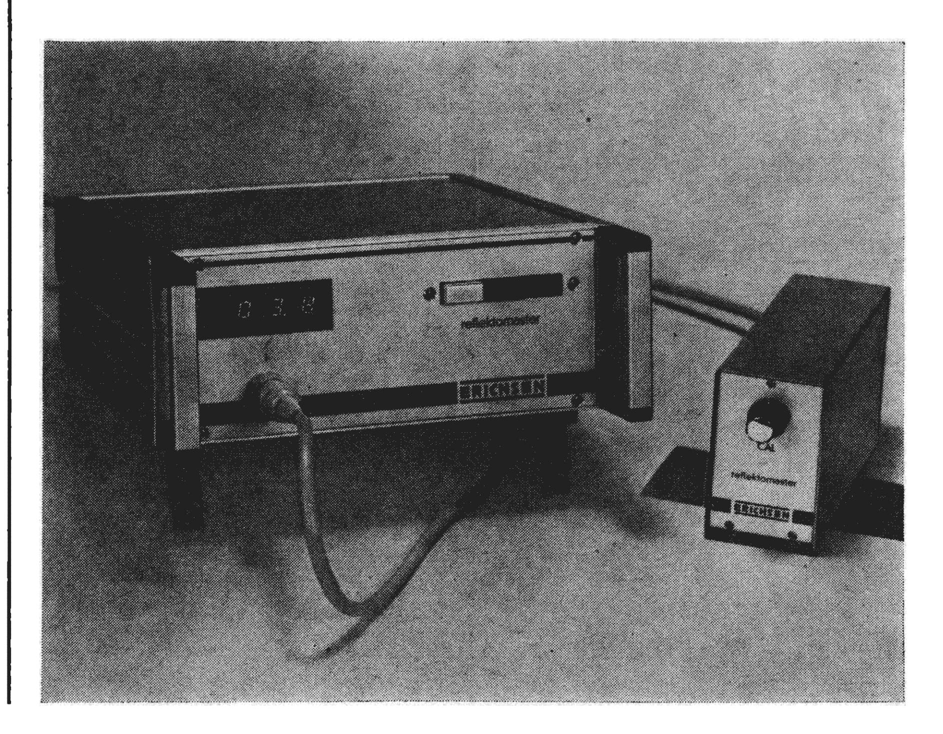
Meßkopf

Geometrie	45/0°
Wiederholbarkeit	0,1 Skaleneinheiten
Vergleichbarkeit	0,5 Skaleneinheiten
Lampenspannung	6 V
Meßöffnung	25 mm × 50 mm
Abmessungen	52 mm × 160 mm × × 85 mm
Masse	0,6 kg

Digitale Versorgungseinheit

Eingangsspannung	220 V, 50 Hz ± 10%
Anschlußleistung	etwa 35 VA
Anzeige	digital −0,9 ... +199,9 Schrifthöhe 8 mm
Abmessungen	230 mm × 240 mm × × 90 mm
Masse	2,2 kg

msr 7944



Kleines Lexikon der Mikrorechentechnik. Von *G. Paulin*. Band 206 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 64 Seiten, 31 Bilder, 4,80 Mark. Bestell-Nr. 553 248 1

Mit der Mikroelektronik entwickelte sich eine neue Qualität in der Rechentechnik/Datenverarbeitung. Der Einsatz hochintegrierter Schaltkreise als Prozessoren, Speicher oder Peripheriebausteine brachte eine Reihe von speziellen Begriffen und Bezeichnungen, die neben dem bereits bestehenden Vokabular der Programmierung und der konventionellen Rechentechnik einzuordnen waren. Gegenstand dieses Bandes sind wesentliche Begriffe dieses Gebietes, wie sie ein Anwender und Programmierer benutzt. Deshalb wurde die Begriffswelt der Technologie der Mikroelektronik ausgeklammert bzw. es wurden nur Grundelemente aufgenommen, die sich in der Programmierung widerspiegeln oder zum Verständnis von Kenndaten erforderlich sind. In lexigrafischer Anordnung werden auf etwa 60 Seiten Begriffe und Abkürzungen erklärt und teilweise durch Schemazeichnungen und Gleichungen erläutert. Die Ausführungen zu jedem Begriff sind kurz und prägnant. Zentrale Begriffe, wie Anweisung, Programmiersprachen, Unterprogramm, wurden in dem Begriffsspektrum von Abfragebefehl bis Zyklusanweisung ausführlicher behandelt. Mit zahlreichen Verweisen können weitere Begriffe gefunden werden. Der Band ordnet sich gut in die bereits erschienenen Bände dieser Reihe zur Mikrorechentechnik ein. Er ist nützlich und praktisch. Dieses Nachschlagewerk kann jedem, der mit der Mikroelektronik Berührung hat, empfohlen werden. B 1857 *W. Fritzsch*

Sensortechnik für Kraft und Drehmoment. Band 205 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Von *E. Baumann*. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 75 Seiten, 40 Bilder, 3 Tafeln, 4,80 Mark. Bestell-Nr. 553 247 3

Das Büchlein bietet in gedrängter Darstellung eine Vielzahl von Informationen zur Kraft- und Drehmomentmeßtechnik. Diese Stoffülle auf solch geringem Raum unterzubringen, war nur durch eine straffe Gliederung und einen hohen Verallgemeinerungsgrad möglich. So sind beispielsweise im 2. Kapitel „Grundsätzliches über Kraft- und Drehmomentsensoren" auf knapp 16 Seiten der Grundaufbau, die Wandlerprinzipien, die prinzipiellen konstruktiven Lösungen und die allgemeinen Eigenschaften (einschließlich des Fehlerverhaltens derartiger Sensoren) abgehandelt. Dem mit meßtechnischen Problemen vertrauten Leser wird diese Darstellung viel geben, insbesondere da sie Überlegungen enthält, die sich mit Nutzen auch auf andere Gebiete der Meßtechnik übertragen lassen. Dabei muß man allerdings beachten, daß manche Begriffe (Grund- und Zusatzfehler, Nenngröße u. a.) gegenüber den meßtechnischen Grundlagenstandards hier etwas abweichend definiert sind. Dem Anfänger könnte die konzentrierte Darstellung vielleicht stellenweise gewisse Schwierigkeiten bereiten. Das gilt jedoch keineswegs für die beiden nachfolgenden Hauptabschnitte, und zwar Kapitel 3 „Kraftsensoren" und Kapitel 4 „Drehmomentsensoren". Hier wird, zwar auch in gestraffter Form, eine sehr praxisbezogene, klare Beschreibung der gebräuchlichen Sensortypen mit ihren Vor- und Nachteilen gegeben. Dabei geht der Autor auch auf Einbauhilfsmittel und Anwendungsgebiete ein. Sehr wertvoll sind in diesem Zusammenhang vor allem die übersichtlich zusammengestellten Auswahlgesichtspunkte, aus denen erste wichtige Hinweise für die Lösung eines konkreten Meßproblems entnommen werden können. Ein umfangreiches Literaturverzeichnis (auch mit weiterführender Literatur) ergänzt die Ausführungen und ermöglicht dem interessierten Leser ein weiteres Eindringen in den Stoff. Jedenfalls hätte die Problematik der Meßfühler für Kräfte und Drehmomente auf 63 Textseiten kaum besser und für den beabsichtigten Zweck erschöpfender dargeboten werden können. B 1872 *H. Hart*

Entwurf und Diagnose komplexer digitaler Systeme. Von *D. Reinert*. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 270 Seiten, 152 Bilder, 35 Tafeln, 37,— Mark. Bestell-Nr. 553 209 4

In der bisher vorliegenden Literatur zum Entwurf digitaler Systeme werden im wesentlichen mehr oder weniger umfangreich die klassischen Grundlagen der Automatentheorie, der Schaltalgebra und Graphentheorie dargestellt und an Beispielen ihre Anwendungen erläutert. Für den Schritt zwischen der Aneignung dieser Theorien und der Entwurfspraxis im Sinne der Erarbeitung einer effektiven Realisierungsanweisung für sehr große und komplexe digitale Systeme stand den Projektanten jedoch bisher kaum Literatur zur Verfügung. Dieser Schritt wird aber um so bedeutungsvoller, je dringender auch die Rechnerunterstützung des Entwurfsprozesses ist. Die daraus resultierenden CAD/CAM-Strategien erfordern zum rationellen Einsatz der rechentechnischen Hilfsmittel eine den spezifischen Bedingungen angepaßte „technologische Regieführung", für die allgemeingültige Prinzipien abgeleitet werden können. In der Phase des Systementwurfes, in der der logisch-strukturelle Detailentwurf noch nicht im Vordergrund steht und beispielsweise Entscheidungen zum Einsatz einfacher und komplexerer Wiederholstrukturen oder über Firmware-Lösungen getroffen werden müssen, wird dies ganz besonders deutlich. Im Buch versucht der Autor, diesen neuen Ansprüchen der Entwurfspraxis gerecht zu werden.
Nach einer kurzen Einführung über die Grundlagen und Besonderheiten von digitalen Systemen und ihres Entwurfes geht er auf die Hierarchie komplexer Systeme ein und zeigt die verschiedenen Möglichkeiten von Systembeschreibungen — immer mit dem Ziel, eine rechnergerechte und formalisierte mathematisch-logische oder -linguistische Darstellungsform zu gewinnen. Die dabei notwendigen Systemstufungen (Blockschachtelungen, Grapheneinbettungen, Unternetztechnik) bilden die Basis der Betrachtungen. Dem Entwurfsprozeß mit seiner Organisation und Methodik und dem parallel dazu erforderlichen Diagnoseentwurf sind die beiden Hauptabschnitte gewidmet. Das Wechselspiel zwischen Analyse und Synthese, zwischen Top-down- und Buttom-up-Vorgehen wird dem Leser mit Dekompositions- und Strukturierungsverfahren gezeigt und an Beispielen erläutert.
Um der enormen funktionellen Bedeutung der Prüftechnologie und dem Kostenaufwand dafür bei einer heute üblichen mikroelektronischen Realisierung mit integrierten Schaltkreisen zu genügen, geht der Autor ausführlich auf die Fehler und Fehlermodelle sowie die Fehlererkennungstechniken ein. Der Entwurf eines Beispielsystems schließt das Buch ab.
Viele prägnante Bilder und Tafeln, die das Wesentliche und Typische für den jeweiligen Entwurfsschritt zeigen, erleichtern dem Leser ebenso wie die übersichtliche Gliederung und die gut ausgewählten Beispiele das Verständnis des anspruchsvollen Inhaltes.
Da sich international die letzten Entwurfsphasen der integrierten Schaltkreise (spezieller elektrischer und topographischer Entwurf) nach wie vor stark auf die Halbleiterhersteller selbst konzentrieren, die Phasen des Systementwurfs und des logisch-strukturellen Entwurfs aber immer mehr vom Anwender durchgeführt werden müssen, kann das Buch gerade den Projektierungsingenieuren empfohlen werden, die durch den Einsatz der Mikroelektronik in allen Bereichen der Volkswirtschaft den damit möglichen Innovationen gerecht werden müssen. B 1866 *S. Pilz*

Automatische Prozeßsicherung in Produktionssystemen. Band 204 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Von *F. Baldeweg*, *D. Balzer* und *G. Brack*. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 75 Seiten, 39 Bilder, 7 Tafeln, 4,80 Mark. Bestell-Nr. 553 246 5

Jede Störung in einer Produktionsanlage, einem Transport- oder Nachrichtensystem bewirkt stets materielle Verluste oder Beeinträchtigung der Lebensqualität. In schweren Fällen kann es zur Zerstörung von Ausrüstungen oder zur Gefährdung des Lebens von Menschen kommen.
In dem Maße, wie technische Prozesse komplexer und komplizierter werden, höhere Produktivität aufweisen, enger mit der gesamten Volkswirtschaft verflochten sind, größere Gefährdungen beinhalten und näher an den zulässigen Grenzen der Materialbelastung betrieben werden, macht sich eine neue Qualität der Prozeßsicherung erforderlich. In der Broschüre werden in klarer und über-

sichtlicher Darstellung die Aufgaben, die notwendigen Prozeßmodelle, der Entwurf und die Strukturen moderner Prozeßsicherungssysteme, die Rolle des Menschen in ihnen, Probleme und Beispiele automatischer Prozeßsicherungssysteme sowie gegenwärtige Entwicklungsrichtungen behandelt, wobei sich die vielseitigen Erfahrungen der Autoren niederschlagen. Neben den zahlreichen theoretischen und methodischen Beziehungen, Analogien und Anknüpfungspunkten zur Prozeßsteuerung, die bei der notwendigen weiteren Bearbeitung dieses Gebietes förderlich sind, lenkt die Broschüre die Aufmerksamkeit auf neue typische Gesichtspunkte der Prozeßsicherung, wie die Störablaufanalyse, die Echtzeitdiagnose, die Therapiesteuerung, die Hardware- und Softwarezuverlässigkeit, die Mensch-Maschine-Kommunikation unter Havarie-Bedingungen, die Zuverlässigkeit und Selbstüberwachung von Prozeßsicherungssystemen.
Die Autoren geben anschaulich einen breiten Überblick über die Probleme der Prozeßsicherung und weisen verantwortungsbewußt auf bestehende Anforderungen und notwendige Weiterentwicklungen hin. Auch aus diesem Grunde ist die Broschüre einem weiten Kreis von Lesern zu empfehlen. B 1873 *R. Strietzel*

Brandschutz — Explosionsschutz — Aus Forschung und Praxis, Band 8. Berlin: Staatsverlag der DDR 1983. 218 Seiten.

Von den insgesamt 22 Beiträgen sind 14 Arbeiten dem Brandschutz gewidmet. Neben 12 Publikationen aus dem Institut der Feuerwehr Heyrothsberge über Qualität und Anwendung von Schaumbildnern, Netzmitteln und Schäumen wird allgemein über die Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet des Brandschutzes informiert. Ein weiterer Beitrag über die Toxizität des Brandrauches vom Institut für Bergbausicherheit Freiberg stellt fest, daß 60% aller brandbedingten Personenschäden auf Raucheinwirkung zurückführen sind. Die ausführlichen, mit Zahlen belegten Erläuterungen der gesundheitsschädlichen Wirkungen von thermischen Zersetzungsprodukten aus Plasten, Harzen, Textilien und Hölzern finden breites Interesse.
Sieben Arbeiten geben den Inhalt eines sicherheitstechnischen Seminars der Technischen Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg wieder. Dabei handelt es sich um theoretische Grundlagen für Schutzsysteme im Explosionsschutz sowie in der Dampf- und Drucktechnik.
Ein Beitrag zum primären Explosionsschutz in Arbeitsgruppen enthält Vorschläge zur Einstufung gemäß TGL 30042 und für die bau- und lüftungstechnische Gestaltung. B 1810 *J. Pester*

Brandschutz — Explosionsschutz — Aus Forschung und Praxis, Band 9. Berlin: Staatsverlag der DDR 1983. 201 Seiten.

Den Inhalt dieses Bandes bestimmen die Vorträge der 4. Fachtagung „Brand- und Explosionsschutz" (Januar 1982) und der 7. Informationstagung „Bautechnischer Brandschutz" (Dezember 1981) sowie vier Beiträge aus dem Institut der Feuerwehr Heyrothsberge zur Brandbekämpfung mit Schäumen.
Die erste der insgesamt 26 Publikationen im Band 9 befaßt sich speziell mit Problemen beim Einsatz von Leichtschaum gegen Brände in Kabelkanälen. Mitglieder von Schutzgütekommissionen werden sich besonders für die Vorträge der 4. Fachtagung „Brand- und Explosionsschutz" interessieren. Unter dem Aspekt der Koordinierung zum DDR-Standard TGL 30042 — Verhütung von Bränden und Explosionen — wird u. a. auf das Beschichten mit Anstrichstoffen, das Umfüllen und Mischen brennbarer Flüssigkeiten, auf Azetylen- und Sauerstoffanlagen sowie auf Besonderheiten bei der Anwendung sicherheitstechnischer Kennzahlen eingegangen. Auch zu den Standards der Elektro- und MSR-Technik mit direktem Bezug auf TGL 30042 findet man ausführliche Darstellungen mit kritischen Anmerkungen zu den gegenseitigen Bezugspunkten. B 1811 *J. Pester*

Explosionsschutz in der Elektrotechnik für energie- und leittechnische Anlagen. VDE-Bezirksverein Frankfurt a. M., Seminar vom 21. Februar bis 14. März 1983. Herausgegeben von *K. Fleck*, Berlin. Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1983. 151 Seiten.

In vier thematisch selbständigen Beiträgen gibt die Broschüre einen Überblick über die Prinzipien und Bedingungen von geräte- und anlagentechnischen Schutzmaßnahmen gegen zündbare Gase, Dämpfe und Stäube in der BRD.
Am Beginn steht eine Darstellung der physikalisch-technischen Grundlagen. Entstehung und Wirkung von Explosionen begründen die Methoden des primären und sekundären Explosionsschutzes. Mit der Erläuterung elektrotechnischer Zündschutzarten für Betriebsmittel bei unterschiedlicher Intensität der Gefährdung schließt dieses Thema ab.
„Explosionsschutz — Konzepte in der Elektrotechnik" lautet der Titel des zweiten Beitrages. Er beschreibt die Zündschutzarten nach DIN EN 50015-20/VDE0170/0171, Teil 2—7/5.78 im Detail, diskutiert konstruktive Varianten, geeignete Kunststoffe und ökonomische Aspekte und geht auch auf das Prüf- und Bescheinigungsverfahren ein.
Vergleichsweise knapp und die anderen Themen überschneidend folgt der Beitrag „Planung und Errichtung explosionsgeschützter elektrischer Anlagen". Mit Hinweis auf die einschlägigen Bestimmungen werden differenzierte Installationsbedingungen mit Bezug auf die Zoneneinteilung und die Zündschutzarten angesprochen.
Unter „Betrieb explosionsgeschützter elektrischer Anlagen" findet man im letzten Teil der Broschüre vieles über das Betreiben, Warten, Überwachen, Prüfen und Instandsetzen von Betriebsmitteln und Anlagen.
Die vorliegende Anthologie verfolgt nicht das Ziel eines Handbuches für den elektronischen Explosionsschutz. Sie soll die Fachleute in der Industrie hauptsächlich über die geltenden sicherheitstechnischen Bestimmungen informieren. Aus der Sicht des Lesers haben es die Autoren dennoch recht gut verstanden, prinzipielle Erläuterungen der Prinzipien und Einzelheiten des anlagetechnischen Explosionsschutzes in die Aussagen zum Vorschriftenwerk einzubinden. Obwohl die Belange der MSR-Technik etwas zu kurz gekommen sind, vermittelt die Broschüre auch viele schutztechnische Informationen ohne direkte Bindung an eine BRD-spezifische Vorschrift. Fachleute außerhalb der BRD können sich außerdem anhand ihrer nationalen Ex-Rechtsvorschriften über markante Unterschiede informieren. B 1809 *J. Pester*

Chancen und Grenzen der Automation und Mikroelektronik (Heft 458 der „Haus-der-Technik-Vortragsveröffentlichungen). Essen: Vulkan-Verlag Dr. W. Classen 1983. 36 Seiten, 53 Bilder, 5 Tafeln.

Das Heft enthält 6 Beiträge zu sehr aktuellen wissenschaftlich-technischen und ökonomischen Problemen der modernen Fertigungsautomatisierung. Renommierte Verfasser berichten über Stand und Entwicklungstendenzen der Fertigungsautomatisierung, die durch den Einfluß der Mikroelektronik und Mikrorechentechnik bedingt sind.
Die Rolle der Hardware und der Software und die sich vollziehende Verschiebung des Aufwandes in Richtung Software werden hinsichtlich ihrer Konsequenzen diskutiert.
Auf die sich vollziehenden Veränderungen im Vorfeld und Nachfeld der Automatisierung der eigentlichen Fertigung, nämlich in der Entwicklung und Konstruktion sowie in der Prüfung, wird ebenfalls eingegangen.
Neben der Berichterstattung über konkrete Erfahrungen und Lösungen werden Markteinschätzungen abgeleitet. Zur Hardware- und Softwareentwicklung und zu den Nutzungsfeldern der Mikroelektronik/Mikrorechentechnik wird interessantes Zahlenmaterial geboten, strategische Gesichtspunkte werden ebenfalls in die Betrachtungen einbezogen.
B 1814 *H. Töpfer*

Kybernetik — Perspektiven, Entwicklung (in Russ.). Moskau: Nauka. 190 Seiten.

Der vorliegende Sammelband widmet sich den Möglichkeiten der Kybernetik in naher aber auch in ferner Zukunft. Untersucht werden von 25 führenden sowjetischen Wissenschaftlern einige Kernfragen im Zusammenhang z. B. mit künstlicher Intelligenz, Kybernetisierung, Rechentechnik, kybernetischem Double des Menschen, Roboter u. a., wobei soziale und philosophische Aspekte ebenfalls berücksichtigt werden. Verständlicherweise ist ein solches Anliegen nicht frei von Kontroversen bzw. umstrittenen Aussagen. Nach der einleitenden Behandlung des Komplexes: Gesellschaft-Kollektiv-Maschine, in dem Arbeiten zur Dialektik von Steuerung und Planung im Sozialismus, zur papierlosen Leitungstechnologie, zur Genialität des Kollektivs, zum Einsatz der Roboter und zur Schaffung eines künstlichen Gehirns enthalten sind, widmet sich die Mehrzahl der Beiträge dem Für und Wider der künstlichen Intelligenz. In diesem Hauptteil sind Arbeiten zum neuen Herangehen an die Anwendung

der EDV-Anlage zur Notwendigkeit der Konzeption einer künstlichen Intelligenz und zu professionellen und problemorientierten Intelligenzsystemen gegeben. Weitere Beiträge untersuchen die Möglichkeiten und Grenzen der künstlichen Intelligenz, ihr Verhältnis zur natürlichen Intelligenz sowie die Evolution bzw. philosophische und allgemeinwissenschaftliche Fragen dieser Problemstellung. Der abschließende Abschnitt beinhaltet futurologische Arbeiten zu den Möglichkeiten der Kybernetik, den Konzeptionen der Mensch-Maschine-Kommunikation, zu den Grenzen der EDV und zum kybernetischen Double des Menschen. B 1801 *J.-A. Müller*

Probleme der Steuerung in Technik, Ökonomie, Biologie (in Russ.). Moskau: Nauka. 229 Seiten, 63 Bilder, 3 Tafeln.

Dieser von *Ja. S. Zypkin* zusammengestellte Sammelband enthält 35 Beiträge zur näherungsweisen bzw. qualitativen Systemanalyse, Modellierung sowie Steuerung komplizierter Systeme. Er gibt dem Leser in dieser Zusammenstellung sowohl einen guten Überblick über den zur Zeit erreichten Stand und die Probleme bei der Beherrschung Großer Systeme als auch einen überzeugenden Nachweis der Notwendigkeit einer kybernetischen Systemanalyse zur Lösung unterschiedlicher komplizierter Aufgabenstellungen.
Das Material ist in 6 Abschnitte gegliedert. Gegenstand des 1. Abschnitts sind allgemeine Fragen der Theorie der Steuerung, z. B. Kalman-Filter, Kodierung, Steuerung stochastischer Systeme und Stabilität, Spieltheorie und Steuerbarkeit physikalischer Objekte, die mit Gleichungen der Quantenmechanik beschrieben werden können. Im folgenden 2. Abschnitt wenden sich die verschiedenen Autoren rechentechnischen Fragestellungen zu, z. B. der Mikroprogrammierung, Interpretationssystemen in Software zur Modellierung diskreter Prozesse, Makrogeneratoren, Dekomposition diskreter Automaten und Organisation der asynchronen Arbeit von Ein- und Ausgang. Während im 3. Abschnitt Modellierung, Steuerung und rechentechnische Beherrschung produktionstechnischer Systeme (z. B. Walzwerke, Fließbänder), ASUTP und entsprechende Software Untersuchungsgegenstand sind, enthält der 4. Abschnitt stärker ökonomische Aufgabenstellungen, z. B. Steuerung von Bedienungssystemen, Steuerung des Systems „Nachfrage — Produktion", aber auch methodologische Probleme der Anwendung des Dialogs, der Erarbeitung von Bedienungsnetzen sowie der Güterbewertung bei der Steuerung. Von besonderer Aktualität sind die kybernetischen Probleme, die im Zusammenhang mit der Robotertechnik (Abschn. 5) entstehen, z. B. die Anwendung adaptiver Modelle zur Steuerung, die operative Planung aktiver autonomer Systeme, Spracherkennungssysteme und Systeme zur räumlichen Orientierung, aber auch biokybernetische Arbeiten, z. B. zur Modellierung der Dynamik der Motivation bei instinktivem Verhalten von Lebewesen. Abschließend werden spezifische Elemente und Ausrüstungen der Automatik untersucht (6. Abschnitt).
B 1802 *J. Peters*

Ökonomische Kybernetik (in Russ.). Von *N. E. Kobrinskij, E. Z. Maiminas* und *A. D. Smirnov*. Moskau: Ekonomika. 408 Seiten, 63 Bilder, 30 Tafeln.

Mit dem Buch liegt auf dem Gebiet der ökonomischen Kybernetik erstmals ein Lehrbuch vor, das sich durch hohen Reifegrad und gute Übereinstimmung mit dem in der anderen kybernetischen Literatur erreichten wissenschaftlichen Niveau auszeichnet. Anstelle bislang üblicher einseitiger Behandlung ausgewählter Aspekte gelingt es den Autoren, zu einer ausgewogenen, weitgehend geschlossenen Darstellung auf einem Niveau, das der zur Zeit erreichten Wissenschaftsentwicklung der Kybernetik entspricht, zu finden. Trotz der erkennbaren Spezifik der Anwendung kybernetischen Gedankengutes in den Gesellschaftswissenschaften bleibt in diesem Buch noch die Zugehörigkeit zur Kybernetik sichtbar.
Gegliedert wird das Lehrbuch in 4 Teile, die dem Begriffsapparat, der Analyse und Synthese sowie der Steuerung gewidmet sind.
Nach einer Behandlung des Gegenstands der ökonomischen Kybernetik und ihrer Methoden werden als wichtigste Begriffe System-, Modell- und Steuerungsbegriff erläutert. Die Besonderheiten ökonomischer Systeme ergeben sich bei der Untersuchung des Untersuchungsgegenstandes der ökonomischen Kybernetik — ökonomischer Systeme.
Die im Zusammenhang mit der Analyse aufgeworfenen methodologischen Fragen werden für gesellschaftliche Konsumtion, produktionstechnische Strukturen sowie Wirtschaftswachstum gelöst. Vorhersageverfahren sind ebenfalls Gegenstand der Darlegungen. Im Zusammenhang mit den methodologischen Problemen der Synthese ökonomischer Systeme werden die Möglichkeit der Synthese einer proportionalen, zielgerichteten und optimalen Wirtschaftsentwicklung behandelt und die erzielten Ergebnisse bewertet. Dieser Abschnitt enthält auch eine kritische Analyse der bürgerlichen Modellansätze. Abschließend sind die wichtigsten Aspekte der Steuerung im Zusammenhang mit der Information angeführt. Dabei geht es dem Autor um Informationssystem, Informationstransport und Bewegung sowie Vervollkommnung der ökonomischen Leitung.
B 1827 *K.-H. Winter*

Prozeßnahes Messen (Heft 468 der „Haus-der-Technik-Vortragsveröffentlichungen"). Essen: Vulkan-Verlag Dr. W. Classen 1983. 88 Seiten, 164 Bilder.

Das Heft enthält Text und Bilder der 12 Vorträge der unter Leitung von Prof. *Pfeifer* am 3. und 4. November 1982 veranstalteten Tagung über prozeßnahes Messen in der Fertigungstechnik. Ausgangspunkt sind die weltweit laufenden Entwicklungen zur Automatisierung der Mittel- und Kleinserienfertigung im Maschinenbau mit dem Ziel des bedienarmen Betriebes, insbesondere in der Nachtschicht.
Mit dem Heft wird eine Übersicht über den in der BRD an Pilotlösungen erreichten und zugleich international repräsentativen Stand der Entwicklung von Meßeinrichtungen zur integrierten Werkstückprüfung und Prozeßüberwachung direkt in oder auch außerhalb der Werkzeugmaschine vermittelt.
Die Einzelbeiträge befassen sich mit: Automatisierten Meß- und Überwachungssystemen für den prozeßnahen Einsatz in der Fertigungstechnik; Prozeßüberwachung beim Drehen, Bohren und Abrichten; Maschinendiagnose in der NC-Fertigung; Entwicklung und Einsatzmöglichkeiten von Meßsteuerungen auf Schleifmaschinen; Werkstückmessung auf NC-Drehmaschinen; Werkstück-/Werkzeugmessung auf NC-Bohr-/Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren; Zahnradmessung in der Bearbeitungsaufspannung; Problematik der direkten Rückführung von Korrekturdaten beim Einsatz von Universalmeßgeräten in der NC-Fertigung; Maschinenunabhängige Meßsteuerungen für NC-Drehmaschinen; Vielstellenmeßgeräte und Prüfautomaten für die Mittel- bis Großserienfertigung; kurz- und mittelfristige Analyse von Prüfdaten; Einsatz eines Mehrkoordinaten-Meßgerätes als flexibler Prüfautomat in der Großserienfertigung; Meßeinrichtungen und Meßverfahren für die Fertigung.
Die Auswertung der vorliegenden Zusammenfassung auch an anderer Stelle schon veröffentlichter Ergebnisse ist lohnend. B 1815 *W. Lotze*

Elektronische Anzeigen. Displays. Von *E. G. Bylander*. München/Wien: R. Oldenbourg Verlag. 212 Seiten, 120 Bilder, 36 Tafeln.

Mit der vor etwa 10 Jahren begonnenen raschen Entwicklung und Ausbreitung der Mikroelektronik, oder allgemeiner von Verfahren auf digitaler Basis, wurden elektronische Anzeigen und Displays notwendiger Bestandteil jeder Geräte- oder Anlagenkonzeption. Die unterschiedlichen Belange in der praktischen Anwendung dieser Wandlerelemente führten zu einem breiten Spektrum an Anzeigeelementen und Displays, die im Buch sachlich, klar und mit Erfahrungen aus der Praxis versehen, beschrieben werden. Die wesentlichen Arten von Anzeigen, wie Gasentladungsanzeigen, LED-Anzeigen, Flüssigkristallanzeigen, Vakuum-Fluoreszenz-Displays und Glühfadendisplays werden im Hinblick auf ihre technischen Eigenschaften und Einsatzcharakteristika behandelt.
Für einen optimalen Einsatz besonders wichtig sind die anthropotechnischen Gestaltungsrichtlinien für Displays, d. h. eine Beantwortung der Frage, wie man, ausgehend von Einsatzbedingungen der Geräte und menschlichen Verhaltensweisen, Art, Größe, Sichtbarkeit usw. ermittelt und damit die Schnittstelle Mensch—Maschine optimiert. Hier wird eine große Lücke im Literaturangebot geschlossen, zumal die angegebenen Berechnungsmethoden einfach sind und erforderliche Grundbegriffe hinreichend erläutert werden.
Etwas kurz gekommen sind die Fragen der Ansteuerung der Anzeigen und Displays. Obwohl es hierzu bereits eine Vielzahl von Veröffentlichungen gibt, würde durch mehr Ausführlichkeit an dieser Stelle das Sachgebiet umfassender beschrieben sein.
Insgesamt ist einzuschätzen, daß dieses Buch eine wertvolle Ergänzung vorhandener Literatur zum Thema Anzeigen und Displays darstellt und Neuheitscharakter bezüglich antropotechnischer Gestaltungsrichtlinien aufweist. Es sollte nirgends fehlen, wo man sich mit diesen wichtigen Bausteinen der Digitaltechnik beschäftigt. B 1757 *R. Wolf*

Fachtagung „Automatisierte Systeme der Vorbereitung und Durchführung der Produktion (Rechnergestützte Arbeit)"

Unter der Leitung der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) findet vom 19. bis 20. Juni 1984 in Berlin eine nationale Fachtagung zu o. g. Thematik statt. Schwerpunkte der Tagung sind:

— Theoretische Grundlagen
— Geräte- und programmtechnische Basis
— Anwendung der rechnergestützten Arbeit in der Elektrotechnik und im Maschinenbau.

An der Teilnahme interessierte Kader wenden sich bis zum 15. April 1984 an
Kammer der Technik
— Präsidium —
WGMA
1086 Berlin
PSF 1315
Tel.: 2202531 App. 216/318

2. Symposium des IMEKO-TC 12 Temperature Measurement

Am 1. Dezember 1983 trafen sich in Suhl das Internationale Programm-Komitee und das Nationale Organisations- und Vorbereitungskomitee für das 2. Symposium Temperature Measurement in Industry and Science des Technischen Komitees 12 der IMEKO, das vom 16. bis 18. Oktober 1984 ebenfalls in Suhl stattfindet (siehe auch msr 26 (1983) 5, S. 297).
Aus den insgesamt 64 Vortragsanmeldungen aus 19 Ländern konnte ein anspruchsvolles wissenschaftliches Programm für das Symposium zu folgenden Sektionen zusammengestellt werden:

I Weiterentwicklung der Internationalen Praktischen Temperaturskala, Präzisionstemperaturmessungen (9 Vorträge)
II Temperatursensoren und ihre Kalibration (9 Vorträge)
III Strahlungs-Temperaturmessung (8 Vorträge)
IV Dynamik von Temperatursensoren (3 Vorträge)
V Industrielle Temperaturmeßtechnik (7 Vorträge)
VI Messung thermophysikalischer Materialeigenschaften, Wärmestrommessungen (8 Vorträge).

Zusätzlich ist noch eine Poster-Sitzung mit 12 Beiträgen vorgesehen.
Parallel zum Symposium werden der VEB Thermometerwerk Geraberg, der VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" Magdeburg, die TU Dresden und das ASMW eine informatorische Ausstellung zu Temperaturmeßgeräten organisieren.
Alle Teilnehmer des Symposiums erhalten nach der verbindlichen Anmeldung, die bis zum 30. Juni 1984 erfolgen muß, einen Band mit den Vortragskurzfassungen zugesandt. Der Tagungsband mit den vollständigen Vortragstexten steht zum Symposium zur Verfügung.
Anforderungen von Programmen und Anmeldungen zum Symposium sind zu richten an:
Kammer der Technik, Dipl.-Ing. *U. Hartung*, DDR-6000 Suhl, Thälmannplatz 4.

F. Bernhard

10. „Tage der Wissenschaft und Technik" an der TH Karl-Marx-Stadt

Die TH Karl-Marx-Stadt führt vom 16. bis 25. Oktober 1984 zum 10. Male die Veranstaltungsreihe „Tage der Wissenschaft und Technik" durch. Thematischen Schwerpunkt bilden in diesem Jahr Problemstellungen aus dem Bereich der Leichtindustrie, insbesondere die entscheidende Rolle industrieller Automatisierungsmittel bei der erfolgreichen Durchsetzung der ökonomischen Strategie der DDR-Volkswirtschaft für die 80er Jahre.
Aus der Reihe der stattfindenden Einzelveranstaltungen erscheinen uns folgende für das Gebiet der Automatisierungstechnik besonders empfehlenswert:

● **Fachtagung „Technologie und Automatisierung in der Leichtindustrie"**

16. bis 18. Oktober 1984
Sektion Textil- und Ledertechnik

Schwerpunkte:

. Ergebnisse zum Einsatz der Mikroelektronik/Robotertechnik in der Textil- und Lederindustrie
. Rechnergestützte textile Erzeugnisentwicklung unter Anwendung der Polyoptimierung
. Qualitätssicherung in der Fadenherstellung
. Chemiefasertechnik, Textilveredelung, Textilreinigung
. Konstruktion von Textilmaschinen und Automatisation in der Konfektion
. Rationelle Fertigungstechnik in der Lederindustrie
. Anwendung der Mikroelektronik/Handhabetechnik/Robotertechnik
. Verallgemeinerungsfähige Automatisierungslösungen der Industrie.

● **Fachtagung „Software für automatisierte Informationssysteme"**

17. und 18. Oktober 1984
Sektion Rechentechnik/Datenverarbeitung

Schwerpunkte:

. Architektur, Technologie der Entwicklung und Anwendung von Software für automatisierte Informationssysteme
. Integrierte Lösungen zu Systemen der automatisierten Informationsverarbeitung
. Automatisierung von Informationssystemen in Lehre, Forschung und Praxis.

● **Fachtagung „Rationalisierung in der polygrafischen Technik — RAPO '84"**

23. bis 25. Oktober 1984
Sektion Verarbeitungstechnik

Schwerpunkte:

. Entwicklung und Anforderungen an die polygrafische Technik aus der Sicht des Maschinenbaus und der Verpackungsmittelindustrie
. Druckformherstellung und Druck
. Bediener- und wartungsarme Bedruckstoffverarbeitung
. Entwicklung der Bedruckstoffe aus Papier, Karton, Pappe
. Einsatz der Mikroelektronik/Industrierobotertechnik in der polygrafischen Technik
. EDV-gestützte Konstruktion.

Voranmeldungen richten Sie bitte unter Angabe der betreffenden Fachtagung und der ausrichtenden Sektion an die Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, 9010 Karl-Marx-Stadt, PSF 964.

Hydraulik-Diagnosegerät

Im Industrieinstitut für Landmaschinen Poznań/VR Polen wurde ein transportables Diagnose-Kleingerät für hydraulische Antriebs- und Steuerungssysteme unter dem Namen „Hydrotester HT3s" entwickelt. Damit wurde der Nachfrage nach einem ortsveränderlichen Diagnosegerät entsprochen, das es ermöglicht, häufig anfallende Prüf- und Kontrollmessungen an hydraulischen Anlagen vor Ort durchzuführen. Das Gerät erfüllt in hohem Maße folgende Anforderungen:

● Kompakte Bauweise
● Realisierbarkeit unterschiedlicher Diagnoseschaltungen mit wenigen Handgriffen
● Geringes Gewicht, kleine Abmessungen
● Beständigkeit gegenüber externen Verunreinigungen
● Betreiben mit wenig gefiltertem Arbeitsfluid
● Betriebszuverlässigkeit
● Wartungsarmut
● Große Meßbereiche
● Überlastbarkeit.

Durch eine neue, originelle Ausführung des Durchflußmeßgerätes konnte bei einem großen Strömungsmeßbereich eine die normalen Erfordernisse der Diagnosemeßtechnik weit überschreitende Meßgenauigkeit erreicht werden.

(Aus „Technik in Polen" (1983) 4)

KURZFASSUNGEN

Kluge, H.:

Gibt es Alternativen zur konventionellen Mengen- und Durchflußmeßtechnik?

msr, Berlin 27 (1984) 4, S. 146–151

Es existiert eine starke Nachfrage nach Mengen- und Durchflußmeßmitteln für die Aufgaben der Bilanzierung, Verrechnung und Dosierung von Material- und Energieströmen sowie der technischen Diagnose von Produktionsanlagen und der Automatisierung von Produktionsprozessen. Für viele Aufgaben stehen heute noch keine für den industriellen Einsatz geeigneten Meßmittel mit geforderten Meßunsicherheiten $\leqq \pm 1\%$ zur Verfügung. Ausgehend von einer Analyse des Fachgebietes werden wissenschaftliche Aufgabenstellungen formuliert und Möglichkeiten zur Bewältigung der Aufgaben der industriellen Mengen- und Durchflußmessung aufgezeigt.

Kaiser, E.:

Interferometrische Temperaturfeldmessung für einen thermischen Fluidgeschwindigkeitsaufnehmer

msr, Berlin 27 (1984) 4, S. 151–154

Für Temperaturfeldmessungen in Phasenobjekten mit Abmessungen, Übertemperaturen und Brechzahldifferenzen, bei denen die Temperaturauflösung der interferometrischen Einweganordnung nicht ausreicht, werden Erfahrungen mit holografischen Mehrweganordnungen mitgeteilt. Es wird von Untersuchungen an thermischen Geschwindigkeitsaufnehmern in Luft berichtet.

Beiermann, N.; Kretschmer, H.; Eichler, R.; Flämig, E.; Kath, U.; Wilke, W.:

Messung von Strömungsgeschwindigkeiten und Volumen- bzw. Massenströmen nach einem Laufzeitkorrelationsverfahren

msr, Berlin 27 (1984) 4, S. 155–160

Im Beitrag wurde ein Laufzeitkorrelationsverfahren zur Messung von Strömungsgeschwindigkeiten und Volumenströmen und seine Realisierung vorgestellt. Die angeführten Beispiele zeigen die Leistungsfähigkeit für stochastische und pseudostochastische Signale. Dabei bestätigt sich, daß gute Meßergebnisse nur in Verbindung mit der Entwicklung geeigneter Aufnehmer zu erreichen sind. Als Hauptanwendungsgebiete sind Zwei- und Mehrphasenströmungen anzusehen.

Negrusz, A.; Teisseyre, M.:

Zur Probeentnahme und Abscheidung der festen Phase bei Staubmessungen

msr, Berlin 27 (1984) 4, S. 160–163

Es wird die Möglichkeit der Fehlerverminderung bei nichtgeschwindigkeitsgleicher Absaugung der Gasprobe untersucht. Eine Neuentwicklung der Entnahmesonde, die die direkte Messung der Staubemission und die Ausschaltung des Einflusses der schwankenden Gasparameter ermöglicht, wird beschrieben. Es wird der Aufbau eines zweistufigen Drehströmungs-Staubabscheiders für Meßzwecke angegeben.

Schmiedeberg, G.; Schöpflin, U.:

Volumenumwerter als Zusatzgerät für Durchflußmeßeinrichtungen mit frequenzanalogem Ausgangssignal

msr, Berlin 27 (1984) 4, S. 163–166

Durchflußmeßeinrichtungen messen den Volumenstrom und zählen das geflossene Volumen für Gase und Flüssigkeiten. Beide Meßgrößen sind abhängig vom Betriebszustand. Für Bilanzierungszwecke erfolgt deshalb eine Umwertung auf Norm- bzw. Standardzustände für Druck und Temperatur bzw. Dichte. Es wird eine Konzeption eines Volumenumwerters auf der Basis des Mikroprozessors U 880 sowie eine mögliche Hardware- und Software-Realisierung vorgestellt, und die möglichen Probleme werden diskutiert.

Zacharias, M.; Zacharias, P.:

Beitrag zur Optimierung von Technologien in der Fertigung

msr, Berlin 27 (1984) 4, S. 167–171

Ausgehend von der Aufbereitung gewonnener technologischer Primärdaten wird ein Kostenmodell als Zielfunktion für die Optimierung der zu wählenden Parameter erarbeitet. Die Optimierung wird am Beispiel der elektroerosiven Metallbearbeitung erläutert. Die erhaltenen optimalen Parameter werden auf neuartige Weise so verdichtet, daß mit Hilfe weniger Stützwerte die Rekonstruktion aller optimalen Parameter mit hinreichender Genauigkeit möglich wird. Eine geeignete Form für die Speicherung der aufbereiteten Daten wird angegeben.

Lachmann, J.; Schäfer, D.; Spangenberg, H.-J.:

Bestimmung von Temperaturprofilen im Karbidofen

msr, Berlin 27 (1984) 4, S. 171–174

Im Beitrag wird ein Meßgerät beschrieben, mit dessen Hilfe das Temperaturprofil im Möller von Kalziumkarbidöfen gemessen werden kann. Die experimentellen Ergebnisse zeigen gute Reproduzierbarkeit. Es kann demonstriert werden, daß das vertikale Temperaturprofil in der Vorwärmzone eines geschlossenen Rundofens nur wenig vom Füllstand des Möllers abhängt.

РЕЗЮМЕ

Kluge, H.:

Имеются ли альтернативы к традиционной технике измерения множеств и расхода?

msr, Berlin 27 (1984) 4, стр. 146–151

Существует большой спрос на средства измерения множеств и расхода для задач балансирования, расчета и дозировки материальных и энергетических потоков, а также технического диагноза производственных установок и автоматизации производственных процессов. Для многих задач пока еще не имеются подходящие для промышленного применения средства измерения с требуемыми погрешностями измерения $\leqq \pm 1\%$. Исходя из анализа этой специальной области сформулированы научные задания и показаны возможности овладения задачами промышленного измерения множеств и расхода.

Kaiser, E.:

Интерферометрическое измерение поля температуры для термического преобразователя скорости флюида

msr, Berlin 27 (1984) 4, стр. 151–154

Для измерений температурного поля в фазовых объектах с габаритами, сверхтемпературами и разностями показателей преломления, при которых разрешение температуры интерферометрического расположения односторонней связи недостаточно, сообщен опыт голографических расположений многосторонней связи. Доложено об исследованиях над термическими преобразователями скорости в воздухе.

Beiermann, N.; Kretschmer, H.; Eichler, R.; Flämig, E.; Kath, U.; Wilke, W.:

Измерение скорости объемного и массового расходов с помощью корреляционного определения времени переноса

msr, Berlin 27 (1984) 4, стр. 155–160

Представлен метод измерения скорости и объемного расхода с помощью корреляционного определения времени переноса. Проведенные примеры подчеркивают эффективность данного метода для случайных или псевдослучайных сигналов. Доказано, что хорошие результаты получаются только с подходящими для данного метода датчиками. Главная область применения — измерения в двух- и трехфазных средах.

Negrusz, A.; Teisseyre, M.:

Об отборе проб и отделении твердой фазы при измерениях пыли

msr, Berlin 27 (1984) 4, стр. 160–163

Исследована возможность уменьшения ошибок при нескоростноравном отсасывании газовой пробы. Описана новая разработка зонда отбора, обеспечивающая непосредственное измерение эмиссии пыли и исключение влияния изменяющихся газовых параметров. Показано построение двухступенчатого пылеотделителя с вихревым потоком.

Schmiedeberg, G.; Schöpflin, U.:

Вычислительный блок корректировки объема как дополнительный прибор для устройств измерения расходов с частотноаналоговым выходным сигналом

msr, Berlin 27 (1984) 4, стр. 163–166

Устройства измерения расхода измеряют объемный ток и подсчитают проходящий объем газов и жидкостей. Обе измеряемые величины зависят от рабочего состояния. Для целей балансировки по этой причине произведено преобразование на нормирующие или стандартные состояния для давления и температуры или плотности. Представлены концепция вычислительного блока корректировки объема на базе микропроцессора типа У 880 и возможная реализация аппаратурного и математического обеспечения; обсуждены возможные проблемы.

Zacharias, M.; Zacharias, P.:

Статья об оптимизации технологий в области изготовления

msr, Berlin 27 (1984) 4, стр. 167–171

Исходя из подготовки полученных технологических первичных данных разработана модель расходов как целевая функция для оптимизации выбираемых параметров. Пояснена оптимизация на примере электроэрозионной обработки металлов. Полученные оптимальные параметры новым образом уплотнены так, чтобы стала возможной с помощью некоторых опорных значений реконструкция всех оптимальных параметров с достаточной точностью. Указана подходящая форма хранения подготовленных данных.

Lachmann, J.; Schäfer, D.; Spangenberg, H.-J.:

Определение температурных профилей в карбидной печи

msr, Berlin 27 (1984) 4, стр. 171–174

В статье описан измерительный прибор, с помощью которого воз можно измерение температурного профиля в шихте печей карбида кальция. Экспериментальные результаты показывают хорошую воспроизводимост ь. Можно продемонстрировать, что вертикальный их температурный профиль в зоне предварительного нагрева закрытой круглой печи зависит только мало от уровня шихты.

SUMMARIES

Kluge, H.:
Are there Alternatives as to Conventional Volume and Flow Measurement?
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 146–151
There is a high demand for volume and flow measurement apparates for the problems of balancing, accounting, dosing of material and energy flows as well as of the technical diagnosis of production plants and of the automation of production processes. For much problems within the industrial application at present suited measurement means with the required measuring uncertainties of ≦ ± 1% are not yet available. Starting from an analysis of the discipline the author formulates scientifical tasks and points out possibilities for overcoming the problems of the industrial volume and flow measurement.

Kaiser, E.:
Interferometrical Temperature Field Measurement for a Thermic Fluid Velocity Sensor
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 151–154
For temperature field measurements in phase objects with dimensions, overtemperatures and refraction index differences with which the temperature resolution of the interferometrical single-way device is not sufficient the author communicates experiences with holographical multiway devices. He reports on studies with thermic velocity sensors in air.

Beiermann, N.; Kretschmer, H.; Eichler, R.; Flämig, E.; Kath, U.; Witke, W.:
Velocity Measurement of Volume and Mass Flows by Means of a Delay Time Correlation Method
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 155–160
The authors present a delay time correlation method and its realization for the measurement of volume flow velocities. The given examples show the performance for stochastic and pseudostochastic signals. With this it is confirmed that good measurement results may only be obtained in connection with the development of suitedsensors. Two and multi phase flows are considered as main application fields.

Negrusz, A.; Teisseyre, M.:
On Solid Phase Sampling and Deposition with Dust Measurements
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 160–163
The authors study the possibility of error reduction with non-velocity-equal exhausting of the gas sample. A new development of the sampling probe allowing the direct measurement of the dust emission and the elimination of the influence of the changing gas parameters is described. The construction of a two-stage rotary flow dust separator for measurement purposes is treated.

Schmiedeberg, G.; Schöpflin, U.:
Volume Transformer as Additional Device for Flowmeters with Frequency-Analogue Output Signal
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 163–166
Flowmeters measure the volume flow and count the gas or liquid volume flowed through. Both measurement quantities depend upon the operation state. Therefore for balancing purposes the pressure, temperature and density values are transformed to standard states. The authors present a conception of a volume transformer on the base of the microprocessor U 880 as well as the corresponding hardware and software realization and discuss possible problems.

Zacharias, M.; Zacharias, P.:
Contribution to the Optimization of Fabrication Technologies
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 167–171
Starting from the evaluation of obtained primary technological data the authors elaborate a cost model as object function for the optimization of the parameters to be selected. The optimization is explained by means of the example of the electroerosive metal working. In a new way the optimal parameters obtained are condensed such that the reconstruction of all optimal parameters by less supporting values becomes possibles with sufficient accuracy. A suited form for storing the prepared data is given.

Lachmann, J.; Schäfer, D.; Spangenberg, H.-J.:
Determination of Temperature Profiles in Carbide Furnaces
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 171–174
In this contribution the authors describe a measurement device by means of which the temperature profile in the burder of calcium carbid furnaces may be measured. The experimental results show a good reproducibility. It may be demonstrated that the vertical temperature profile in the preheating zone of a closed round furnace only depends little upon the burder level.

RÉSUMÉS

Kluge, H.:
Y a-t-il des alternatives pour la mesure conventionnelle de volume et de débit?
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 146–151
Il y a une haute demande quant à des moyens de mesure de volume et de débit pour les problèmes de bilan, de compte et de dosage de flux de matière et d'énergie ainsi que pour les problèmes du diagnostic technique des installations de production et de l'automatisation de processus de production. A présent, pour beaucoup de problèmes en cadre de l'emploi industriel, de propres moyens de mesure avec les incertitudes de mesure exigées de ≦±1% ne sont pas encore disponibles. A partir d'une analyse de la discipline, l'auteur formule des tâches scientifiques et souligne des possibilités pour maîtriser les problèmes de la mesure industrielle de volume et de débit.

Kaiser, E.:
La mesure de champ de température interférométrique pour un capteur de vitesse fluidique thermique
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 151–154
Pour des mesures de champ de température dans des objets de phase avec dimensions, surtempératures et différences d'indice de réfraction près lesquelles la résolution de température du dispositif interférométrique à une voie n'est pas suffisante, l'auteur communique des expériences obtenues avec des dispositifs holographiques à multiples voies. Il rapporte sur des études de capteurs de vitesse thermiques en air.

Beiermann, N.; Kretschmer, H.; Eichler, R.; Flämig, E.; Kath, U.; Witke, W.:
La mesure des vitesses de flux de volume et de masse à l'aide d'une méthode de corrélation à temps de parcours
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 155–160
Les auteurs présentent une méthode de corrélation à temps de parcours et sa réalisation pour la mesure de vitesse de flux de volume. Les exemples donnéés montrent la performance pour des signaux stochastiques et pseudo-stochastiques. A cela, il est confirmé que de bons résultats de mesure ne peuvent être obtenus qu'en connexion avec le développement de propres capteurs. Les flux à deux et multiples phases sont considérés comme champs d'emploi principaux.

Negrusz, A.; Teisseyre, M.:
Sur l'échantillonnage et la séparation de la phase solide près de nesures de poussière
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 160–163
Les auteurs étudient la possibilité de la réduction des erreurs près l'exhaustion non-vitesse-égale de l'échantillon de gaz. Un nouveau développement de la sonde de prélèvement permettant la mesure directe de l'émission de poussière et l'élimination des paramétres de gaz variants est décrit. La construction d'un dépoussiéreur à flux rotatoire à deux étagespour buts de mesure est traitée.

Schmiedeberg, G.; Schöpflin, U.:
Un convertisseur de volume comme appareil additionnel pour des débitmètres à signal de sortie fréquence-analogique
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 163–166
Les débitmètres mesurent le flux de volume et comptent le volume traversé pour des gaz et liquides. Les deux grandeurs de mesure dépendent de l'état opératoire. C'est pourquoi, pour les buts de bilan, une transformation des valeurs de pression, de température et de densité sur l'état standard est exécutée. Les auteurs présentent une conception d'un convertisseur de volume sur la base du microprocesseur U 880 ainsi que la réalisation matériel et logiciel et discutent les problémes possibles.

Zacharias, M.; Zacharias, P.:
Une contribution à l'optimisation de technologies de fabrication
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 167–171
A partir de l'évaluation des données primaires technologiques obtenues, les auteurs élaborent un modèle de coût comme fonction de but pour l'optimisation des paramètres à choisir. L'optimisation est expliquée à l'aide de l'example de l'usinage électro-érosif des métaux. Les obtenus paramétres optimaux sont condensés d'une nouvelle manière tellement que la reconstruction de tous les paramètres optimaux sur la base de moinders valeurs de support devient possible avec une précision suffisante. Une propre forme pour l'emmagasinage des données préparées est présentée.

Lachmann, J.; Schäfer, D.; Spangenberg, H.-J.:
La détermination de profils de température dans des fours de carbure
msr, Berlin 27 (1984) 4, pp. 171–174
Dans cette contribution, les auteurs décrivent un dispositif de mesure à l'aide duquel le profil de température dans le lit de fusion de fours de carbure de calcium peut être mesuré. Les résultats expérimentaux montrent une bonne reproductibilité. On peur démontrer que le profil de température vertical dans la zone de préchauffage d'un four rond fermé ne dépend que peu du niveau du lit de fusion.

Bestellschein



Technik-Literatur

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Fachbuchhandel bestellen.

Expl.

Hydraulik für die Landtechnik
Von einem Autorenkollektiv
1. Auflage, etwa 260 Seiten, 202 Bilder, 24 Tafeln.
Pappband 24,— M (Ausland 30,— M)
Bestell-Nr.: 5531876 ....

Physik
Elektrizität und Magnetismus
Von *A. Recknagel*
13., durchgesehene Auflage, 380 Seiten, 432 Bilder.
Kunstleder 18,— M
Bestell-Nr.: 5528343 ....

Taschenbuch Elektrotechnik in sechs Bänden
Band 3: Bauelemente und Bausteine der Informationstechnik
Hrsg.: *E. Philippow*
2., unveränderte Auflage, 952 Seiten, 1184 Bilder, 214 Tafeln.
Kunstleder 30,— M (Ausland 53,— M)
Bestell-Nr.: 5525978 ....

Halbleiterelektronik
Lehrbuch
Von *A. Möschwitzer* und *K. Lunze*
6., bearbeitete Auflage, etwa 520 Seiten, 552 Bilder, 39 Tafeln.
Kunstleder etwa 35,— M
Bestell-Nr.: 5533353 ....

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

....

....

....

....

....
Name, Vorname

....
Anschrift mit Postleitzahl

....
Datum Unterschrift

messen · steuern · regeln

Herausgeber	Kammer der Technik, Wissenschaftliche Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 tech dd
Verlagsdirektor	Dipl.-oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870362) Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Redakteur (Telefon: 2870374)
Lizenz-Nr.	1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	15936
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201. Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in andere Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propagandit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O.Box 88, Beijing
ČSSR	PNS — Ústředni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohradská 41, 12505 Praha PNS, Ústřed na Expedicia Tlače, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P. i W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei şi Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucureşti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O.Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Komissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160, und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29.

Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. des Instituts enthalten.
Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1984 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.



NEUE BÜCHER AUS DER UDSSR

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst "Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] *Jarmoš, N. A.:* Avtomatizacija informacionnogo obespečenija processov proektirovanija (Automatisierung der informationellen Absicherung der Projektierungsprozesse). Nauka i technika (BSSR). 2. Quart. 1984. NK 83–38 (36).

[2] *Zlotnik, E. M.:* Sekcionirovannye mikroprocessory (Sektionierte Mikroprozessoren). Nauka i technika (BSSR). 2. Quart. 1984. NK 83–38 (37).

[3] *Man'šin, G. G.; Kantylev, E. Ja.:* Inžener osvaivaet EVM (Der Ingenieur erobert die EDVA). Nauka i technika (BSSR). 1. Quart. 1984. NK 83–38 (38).

[4] *Cvetkov, V. D.; Petrovskij, A. I.; Tolkačev, A. A.:* Problemno-orientirovannye jazyki avtomatizirovannogo technologičeskogo proektirovanija (Problemorientierte Sprachen der automatisierten technologischen Projektierung). Nauka i technika (BSSR). 3. Quart. 1984. NK 83–38 (39).

[5] *Vajkul', A. A.:* Naučnaja informacija ... Kak my ee ponimaem? (Wissenschaftliche Information ... Wie verstehen wir sie?). Nauka i technika. 4. Quart. 1984. NK 83–38 (40).

[6] *Krylov, V. I.; Bobkov, V. V.; Monastyrnyj, P. I.:* Načala teorii vyčislitel'nych metodov (Anfang einer Theorie der rechentechnischen Methoden). Nauka i technika (BSSR). 1. Quart. 1984. NK 83–38 (44).

[7] Sredstva avtomatizacii izmerenij, kontrolja i upravlenija (Mittel der Automatisierung der Messung, Kontrolle und Steuerung). Nauka i technika (BSSR). 4. Quart. 1984. NK 83–38 (95).

[8] *Petrovskij, V. S.; Charitonov, V. V.:* Avtomatika i avtomatizacija proizvodstvennych processov lesopromyšlennych predprijatij (Automatik und Automatisierung von Produktionsprozessen der holzverarbeitenden Industriebetriebe). Lesnaja prom-st'. 2. Quart. 1984. NK 83–38 (282).

[9] *Kanygin, Ju. M.:* Ekonomika i organizacija mašinnoj informacii (Ökonomie und Organisation maschineller Information). Naukova dumka (USSR). 3. Quart. 1984. NK 83–39 (14).

[10] Metody i algoritmy avtomatizirovannogo proektirovanija složnych sistem upravlenija (Methoden und Algorithmen der automatisierten Projektierung komplizierter Steuerungssysteme). Naukova dumka (USSR). 3. Quart. 1984. NK 83–39 (31).

[11] Parallel'naja obrabotka informacii (Parallele Informationsverarbeitung). Naukova dumka (USSR). 3. Quart. 1984. NK 83–39 (32).

[12] *Kulakov, G. T.:* Inženernye ekspress-metody rasčeta promyšlennych sistem regulirovanija (Ingenieurmäßige Expreßmethoden zur Berechnung industrieller Regelungssysteme). Vyšejšaja škola (BSSR). 1. Quart. 1984. NK 83–39 (122).

[13] Avtomatika i vyčislitel'naja technika. Vyp. 14 (Automatik und Rechentechnik. Ausg. 14). Vyšejšaja škola (BSSR). 4. Quart. 1984. NK 83–39 (136).

[14] Kibernetika i vyčislitel'naja technika (Kybernetik und Rechentechnik). Naukova dumka (USSR). Ausg. 62. 3. Quart. 1984. NK 83–39 (153); Ausg. 63. 3. Quart. 1984. NK 83–39 (154); Ausg. 64. 4. Quart. 1984. NK 83–39 (155).

[15] Optoelektronika i poluprovodnikovaja technika. Vyp. 6. (Optoelektronik und Halbleitertechnik. Ausg. 6). Naukova dumka (USSR) 4. Quart. 1984. NK 83–39 (174).

[16] Otbor i peredača informacii. Vyp. 70 (Auswahl und Übertragung von Information. Ausg. 70). Naukova dumka (USSR). 3. Quart. 1984. NK 83–39 (175).

[17] *Veršigora, E. E.; Kim, S. A., Naučitel', M. V.:* Naučnye osnovy upravlenija (Wissenschaftliche Grundlagen der Steuerung). Vyšejšaja škola (BSSR). 3. Quart. 1984. NK 83–39 (264).

[18] *Andreev, V. N.; Mironoseckij, N. B.:* Optimizacija upravlenija predprijatiem (Ob'edineniem) (Optimierung der Steuerung eines Betriebes (Kombinats)). Nauka. 2. Quart. 1984 NK 83–40 (61).

[19] *Neujmin, Ja. G.:* Modeli v nauke i technike (istorija, teorija, praktika) (Modelle in Wissenschaft und Technik (Geschichte, Theorie und Praxis)). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–40 (91).

[20] *Obuchova, L. E.:* Avtomatizirovannoe proizvodstvo i čelovek (istoričeskoe issledovanie) (Automatisierte Produktion und Mensch (historische Untersuchung)). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–40 (92).

[21] *Berezovskij, B. A.; Gnedin, A. V.:* Zadača nailučšego vybora (Aufgabe der besten Auswahl). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–40 (94).

[22] *Vorob'ev, O. Ju.:* Srednemernoe modelirovanie (Modellierung im Mittel). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–40 (95).

[23] Modeli informacionnych setej (Modelle von Informationsnetzen). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–40 (96).

[24] *Nejman, V. I.:* Teoretičeskie osnovy edinoj avtomatizirovannoj seti svjazi (Theoretische Grundlagen eines einheitlichen automatisierten Nachrichtennetzes). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–40 (97).

[25] Sistemy avtomatizacii v nauke i proizvodstve (Systeme der Automatisierung in Wissenschaft und Produktion). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–40 (98).

[26] Teorija aktivnych sistem v zadačach optimal'nogo sinteza chozjastvennych mechanizmov (Theorie der aktiven Systeme in Aufgaben der optimalen Synthese von Wirtschaftsmechanismen). Nauka 2. Quart. 1984. NK 83–40 (99).

[27] *Cykinov, A. M.:* Adaptivnoe upravlenie ob'ektami s posledejstviem (Adaptive Steuerung von Objekten mit Nachwirkung). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–40 (100).

[28] Metod funkcii Ljapunova i ego priloženija (Methode der Ljapunov-Funktion und ihre Anwendung). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–40 (107).

[29] Nekorrektnye zadači matematičeskoj fiziki i analiza (Nichtkorrekt gestellte Aufgaben der mathematischen Physik und Analysis). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–40 (108).

[30] Nekorrektnye zadači teorii vozmuščenij (asimptotičeskie metody mechaniki) (Nichtkorrekt gestellte Aufgaben der Theorie der Erregung (asymptotische Methoden der Mechanik)). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–40 (109).

[31] *Rotenberg, V. S.; Aršavskij, V. V.:* Poiskovaja aktivnost' i adaptacija (Suchaktivität und Adaption). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–40 (196).

[32] Metody issledovanija dinamičeskich sistem na EVM (Methoden zur Untersuchung dynamischer Systeme auf der EDVA). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–40 (261).

[33] Trudy Moskovskogo instituta inženerov železnodorožnogo transporta. Vyp. 719: Povyšenie nadežnosti i kačestva funkcionirovanija ASUŽT (Arbeiten des Moskauer Ingenieurinstituts für Eisenbahntransport. Ausg. 719: Erhöhung der Zuverlässigkeit und Qualität des Funktionierens des automatisierten Systems zur Steuerung des Eisenbahntransports). MIIT. 4. Quart. 1983. NK 83–42 (140).

msr 8054

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 27 (1984) 4, S. 145—192